

ЗЕМЛЯ И

№2 (350)

МАРТ-АПРЕЛЬ, 2023

космонавтика
астрономия
астрофизика
космонавтика

ВСЕЛЕННАЯ

ISSN 0044-3948



От «Большого взрыва»
до образования галактик

Вселенная
Николая Кардашёва

ТРЕТЬЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ ВИКТОРИНА ЮНЫХ ФИЗИКОВ ОФН РАН

ВЕЛИКИЙ ПОЛЕТ КИТАЯ

НОВЫЕ СТИХИ МИХАИЛА СИНЕЛЬНИКОВА

издательство
НАУКА
— 1727 —

Издательство «Наука» оказывает услуги:

- **СОЗДАНИЕ ОРИГИНАЛ-МАКЕТА**
редактирование
вёрстка
изготовление рисунков
- **ХУДОЖЕСТВЕННОЕ ОФОРМЛЕНИЕ**
- **ВСЁ КОМПЛЕКС ПОЛИГРАФИЧЕСКИХ УСЛУГ**
- **РАСПРОСТРАНЕНИЕ В МАГАЗИНАХ
«АКАДЕМКНИГА»**

Высокопрофессиональные специалисты «Науки»
готовы к сотрудничеству

naukapublishers.ru

Тел.: +7 (495) 276-7735

Реклама

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫЕ ЖУРНАЛЫ ТЕПЕРЬ ДОСТУПНЫ ВСЕМ



Уважаемые коллеги!
Открыта подписка для физических лиц
на номера 2023 г. научно-популярных журналов
«Земля и Вселенная», «Природа»,
«Энергия: экономика, техника, экология»

ЖУРНАЛ «ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ»

Стоимость годового комплекта (6 номеров) 1650 руб.

Редакция журнала

Тел.: +7 (495) 276-77-35 (доб. 42-31)

E-mail: zevs@naukapublishers.ru

Шубинский пер., д. 6, стр. 1

ЖУРНАЛ «ПРИРОДА»

Стоимость годового комплекта (12 номеров) 3840 руб.

Редакция журнала

Тел.: +7 (495) 276-77-35 (доб. 41-71)

E-mail: priroda@naukapublishers.ru

Шубинский пер., д. 6, стр. 1

ЖУРНАЛ «ЭНЕРГИЯ: ЭКОНОМИКА, ТЕХНИКА, ЭКОЛОГИЯ»

Стоимость годового комплекта (12 номеров) 3840 руб.

Редакция журнала

Тел.: +7 (495) 362-07-82

E-mail: energy@iht.mpei.ac.ru

ул. Красноказарменная, 17а

**Журналы также можно приобрести в розницу
в магазинах «Академкнига» по следующим ценам:**

«Земля и Вселенная» — 310 руб.

«Природа» — 360 руб.

«Энергия: экономика, техника, экология» — 360 руб.

**Выпуски и статьи журналов в электронном
виде можно приобрести на сайте libnauka.ru**

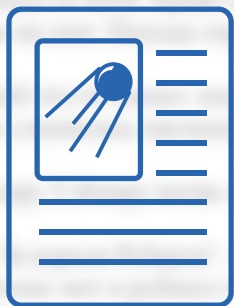


СТОИМОСТЬ ОДНОГО ВЫПУСКА/СТАТЬИ ЖУРНАЛА В ЭЛЕКТРОННОМ ВИДЕ, ИЗДАННОГО В 2023 ГОДУ

Журнал	Выпуск (руб.)	Статья (руб.)
«Земля и Вселенная»	255	90
«Природа»	315	90
«Энергия: экономика, техника, экология»	315	90

Подписаться можно в редакциях
указанных журналов.
Убедительная просьба связаться
с редакциями перед визитом.

**В случае возникновения вопросов можно также обращаться
в Управление по выпуску журналов ФГБУ «Издательство «Наука»:**
Тел.: +7 (495) 276-77-35 (доб. 43-01)
E-mail: journals@naukapublishers.ru



НАУКА

www.libnauka.ru

*Добро пожаловать
в электронную библиотечную систему
Издательства «Наука»!*

Электронная библиотечная система Издательства «Наука» – это простой и удобный доступ к огромной коллекции статей и книг, входящих в портфолио «Науки»

Электронная библиотечная система это:

- научная, научно-популярная и классическая литература, от статей до монографий
- оперативное обновление новинок благодаря тесной интеграции с редакционно-издательской системой «Науки»
- разветвленный тематический каталог
- простая и эффективная система поиска
- интуитивная и простая система оформления заказа и подписок
- прозрачная система статистики
- надежность доступа и стабильность работы

Реклама

Присоединяйтесь к миру «Науки»!

ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

№2 (350)
МАРТ-АПРЕЛЬ, 2023

ISSN 0044-3948

астрономия
геофизика
космонавтика

Научно-популярный журнал
Российской академии наук
Издается под руководством
Президиума РАН
Выходит с января 1965 года
6 раз в год
«Наука»
Москва

На обложке:

Процессы звездообразования
в ранней Вселенной
в представлении художника.
Изображение:
Adolf Schaller for STScI

В НОМЕРЕ:

Колонка главного редактора	3
ПОСТНОВ К.А., СИЛЬЧЕНКО О.К. Вселенная от «Большого взрыва» до образования галактик	5
Космическое образование	
ГОЛОВАНОВА А.В., МАГАРЯН К.А., НАУМОВ А.В. Третья всероссийская викторина юных физиков Отделения физических наук РАН. Вопросы	23
Люди науки	
ДАГКЕСАМАНСКИЙ Р.Д. 60 лет знакомства с Н.С. Кардашёвым и 30 лет работы под его руководством	35
КЕЛЛЕРМАНН К. Воспоминания о Николае Кардашёве: от астрофизики до инопланетян	42
СОГЛАСНОВ В.А. Воспоминания о Н.С. Кардашёве. Камчатская экспедиция	49
КУРТ В.Г. Мой друг Николай Кардашёв	60
Космическая физика	
РЯЗАНЦЕВА М.О., ЗЕЛЁНЫЙ Л.М. «Спектр-Р» как инструмент для исследования турбулентности	70
Космонавтика XXI века	
ПЕСЛЯК А.М. Великий полет Китая	84
Литературный космос	
СИНЕЛЬНИКОВ М.И. Стихи	99
In memoriam	
ПУЛИНЕЦ С.А. Станислав Петрович Перов (25.04.1935–26.09.2022)	101
Космическое образование	
ГОЛОВАНОВА А.В., МАГАРЯН К.А., НАУМОВ А.В. Третья всероссийская викторина юных физиков Отделения физических наук РАН. Ответы	104
Table of Content	117

Earth&Universe: Astronomy, Geophysics, Cosmonautics
Bimonthly popular scientific magazine of the Russian Academy of Sciences & NAUKA Publishing.
Founded 1965.
Published by NAUKA Publishing, Profsoyuznaya Str., 90, 117997, Moscow, Russia.

Редакционная коллегия:

главный редактор
академик Л.М. ЗЕЛЕНЬИЙ,
летчик-космонавт
П.В. ВИНОГРАДОВ,
зам. главного редактора
кандидат филолог. наук
О.В. ЗАКУТНЯЯ,
доктор исторических наук
К.В. ИВАНОВ,
летчик-космонавт
А.Ю. КАЛЕРИ,
кандидат физ.-мат. наук
О.Ю. ЛАВРОВА,
доктор физ.-мат. наук
А.А. ЛУТОВИНОВ,
зам. главного редактора
доктор физ.-мат. наук
О.Ю. МАЛКОВ,
доктор физ.-мат. наук
И.Г. МИТРОФАНОВ,
академик И.И. МОХОВ,
член-корр. РАН
И.Д. НОВИКОВ,
доктор физ.-мат. наук
С.П. ПЕРОВ,
доктор физ.-мат. наук
К.А. ПОСТНОВ,
доктор физ.-мат. наук
М.В. РОДКИН,
научный директор
Московского планетария
Ф.Б. РУБЛЕВА,
член-корр. РАН
А.Л. СОБИСЕВИЧ,
член-корр. РАН
О.Н. СОЛОМИНА,
член-корр. РАН
В.А. СОЛОВЬЕВ,
академик
А.М. ЧЕРЕПАЩУК,
доктор физ.-мат. наук
В.В. ШЕВЧЕНКО,
член-корр. РАН
Б.М. ШУСТОВ

Editorial Board:

Editor-in-chief
Acad. Dr. Lev M. ZELENYI
Acad. Dr. Anatoly M. CHEREPASCHUK
Dr. Konstantin V. IVANOV
Pilot-cosmonaut Alexander Yu. KALERI
Dr. Olga Yu. LAVROVA
Dr. Alexander A. LUTOVINOV
Deputy Editor-in-chief
Dr. Oleg Yu. MALKOV
Dr. Igor G. MITROFANOV
Acad. Dr. Igor I. MOKHOV
RAS Corr.Member Dr. Igor D. NOVIKOV
Dr. Stanislav P. PEROV
Dr. Konstantin A. POSTNOV
Dr. Mikhail V. RODKIN
Faina B. RUBLEVA
Dr. Vladislav V. SHEVCHENKO
RAS Corr. Member Dr. Boris M. SHUSTOV
RAS Corr. Member Dr. Alexey L. SOBISEVICH
RAS Corr. Member Dr. Olga N. SOLOMINA
RAS Corr. Member Dr. Vladimir A. SOLOVYEV
Pilot-cosmonaut Pavel V. VINOGRADOV
Deputy Editor-in-chief
Dr. Olga V. ZAKUTNYAYA

Колонка главного редактора

Дорогие читатели, коллеги, друзья!

Лежащий перед вами весенний номер «Земли и Вселенной», как обычно, посвящен новым результатам, полученным в космосе и из космоса. Много внимания в этом номере мы уделим и людям науки, к сожалению, уже ушедшим из жизни.

Несколько статей посвящены яркой жизни академика Н.С. Кардашёва, руководителя Астрокосмического центра Физического института им. П.Н. Лебедева. Круг интересов Николая Семеновича был чрезвычайно широк, но главной его любовью всегда оставалась радиоастрономия. Ученик великого Иосифа Самуиловича Шкловского, он достойно продолжил его дело и сумел увидеть, как в космосе заработал проект его жизни – «Спектр-Р» или, как его часто называют, «РадиоАстрон», и обдумать его главные результаты.

Мы уже писали о результатах «Спектра-Р» и, уверен, обязательно продолжим эту тему.

При подготовке проекта Николай Семёнович проявил большую научную широту, можно сказать щедрость, одоблив установку на космическом аппарате небольшого плазменного комплекса, не имеющего прямой связи с основными научными задачами проекта. Орбита «Спектра-Р» проходила через чрезвычайно интересные для специалистов по космической физике «критические» области околоземного космического пространства. Измерения, проведенные здесь, позволили получать очень важные данные о базовых свойствах плазменной турбулентности, во мно-



гом определяющей динамику космической плазмы.

В статьях этого номера о Николае Семёновиче вспоминают его друзья, коллеги и ученики.

Еще один «прощальный» материал посвящен доктору физико-математических наук С.П. Перову, много лет исполнявшему обязанности главного редактора нашего журнала.

Станислав Петрович много сделал, чтобы журнал регулярно выходил и в самые сложные времена, часто сам готовил интересные материалы и старался активно привлекать в журнал новых авторов. Последняя его статья была опубликована совсем недавно – в № 4 за 2022 г. и была посвящена новейшим результатам в области исследования того, как «космическая погода» влияет на климат и атмосферу Земли.

Основная статья номера написана сотрудниками Астрономического института им. П.К. Штернберга МГУ. Они подробно рассказали о ранних этапах эволюции нашей тогда еще молодой Вселенной – от Большого взрыва до образования первых галактик.

Думаю, многих любознательных читателей заинтересуют и материалы Третьей викторины по физике, которую в 2022 г. провело Отделение физических наук РАН. Много интересных задач было предложено членами Отделения (не удержусь, скажу: там есть и моя задача).

В этом номере продолжается публикация «цикла» стихотворений М.И. Синельникова, посвященных космосу в самом широком смысле этого слова. Я пользуюсь случаем, чтобы поздравить Михаила Исааковича с новым взлетом его творческой активности: только что вышла книга его новых стихов «Язык цветов» и энциклопедическая двухтомная антология узбекской поэзии.

Возвращаясь к физическому космосу, скажу, что сегодня главное, чем заняты я и многие мои коллеги из ИКИ РАН и НПО им. Лавочкина – подготовка к долгожданному запуску нашей первой (в XXI веке) лунной экспедиции, космического аппарата «Луна-25». Он должен состояться этим летом. Мы люди суеверные, так что не буду пока много об этом говорить. Тем временем лунных специалистов очень вдохновляют результаты анализа образцов лунного грунта, доставленного китайской миссией «Чанъэ-5» (*Chang'e-5*).

Надо сказать, что у российских ученых начало выстраиваться очень плодотворное сотрудничество с китайскими коллегами. Подписано соглашение о создании в будущем совместной лунной станции, обсуждаются и другие совместные работы по лунной тематике. О достижениях китайской космической программы вы также можете прочитать в этом номере, а я хочу представить несколько новых китайских результатов, опубликованных недавно в журнале *Nature Astronomy*.

Миссия «Чанъэ-5» позволила объединить информацию, полученную из возвращенных образцов, с наблюдениями на самой Луне и с орбиты. Мы получили представление о деталях такого важного процесса, как космическое выветривание (*space weathering*), очень важного для безатмосферных небесных тел. В данном случае этот процесс привел к образованию частиц металлического железа (Fe⁰) в ободках минеральных зерен. Используя эти данные, китайские коллеги сумели оценить так называемый индекс зрелости почвы в месте посадки «Чанъэ-5» и определить возраст образования кратера Сюй Гуанци, выбросы которого преобладают на этом участке, как 240–300 млн лет.

Но в целом основные образцы «Чанъэ-5», имеющие возраст 2 млрд лет, являются самым молодым лунным базальтовым реголитом, возвращенным на Землю, и могут предоставить информацию о разнообразии условий формирования геологических пород и процессах разрыхления (*gardening*) реголита в молодых морских регионах на Луне.

Был изучен состав более 3000 частиц реголита «Чанъэ-5», размером менее 2 мм. В них были найдены 7 экзотических магматических обломков, образованных веществом, выброшенным в результате удара, из районов Луны, удаленных на расстояние более 50–400 км от места посадки. В частности, обнаружены следы уникальных вулканических извержений. Это дает новые аргументы в давнем споре о лунном вулканизме.

Надеюсь, в не столь отдаленном будущем в научные базы лунного вещества войдут и образцы, которые планирует доставить из приполярных районов Луны на Землю отечественная экспедиция «Луна-28».

Главный редактор
журнала «Земля и Вселенная»
академик Лев Матвеевич Зелёный

ВСЕЛЕННАЯ ОТ «БОЛЬШОГО ВЗРЫВА» ДО ОБРАЗОВАНИЯ ГАЛАКТИК



ПОСТНОВ Константин Александрович,

доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН

СИЛЬЧЕНКО Ольга Касьяновна,

доктор физико-математических наук

*Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга
Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова*

DOI: 10.7868/S00044394823020019

Ничто так не возбуждает воображение человека, как мысли о космосе – нашей Вселенной, ее прошлом, настоящем и даже будущем. С начала XXI века впечатляющие успехи астрономии – как теоретической, так и наблюдательной – отмечены уже пятью Нобелевскими премиями по физике (2002, 2006, 2011, 2017, 2020). В 2022 году начал работать космический телескоп им. Уэбба, одной из основных научных задач которого является наблюдение первых звезд и галактик во Вселенной. В первой части статьи мы кратко резюмируем современные знания об эволюции ранней Вселенной до эпохи образования в ней наблюдаемых крупномасштабных структур. Во второй части, основываясь на результатах многоволновых астрономических наблюдений, рассказываем об образовании и эволюции галактик – гигантских звездных островов, являющихся основным элементом крупномасштабной структуры Вселенной.

ОТ КВАНТОВЫХ ФЛУКТУАЦИЙ К ЗАРОЖДЕНИЮ ГАЛАКТИК И ЗВЕЗД

*Нестационарная Вселенная.
Модели Фридмана–Леметра–
Робертсона–Уокера*

Астрономическое доказательство нестационарности Вселенной, безусловно, является одним из величайших научных достижений XX века. Неста-

ционарность Вселенной проявляется по ее изотропному (т.е. не зависящему от направления) и однородному (не зависящему от места наблюдателя) расширению, которое было выведено из анализа красных смещений галактик Леметром и Хабблом в конце 1920-х гг. Расширение Вселенной проявляется в зависимости $v = H_0 r$, где $H_0 = 70$ км/с/Мпк – современное значение параметра расширения – параметр Хаббла (иногда говорят «постоянная Хаббла», хотя она меняет-

ся со временем). Напомним, что красное смещение – это отношение разности наблюдаемой λ_{obs} и лабораторной длины волны λ_0 некоторой известной спектральной линии (например, балмеровской линии водорода H_α с длиной волны $6563\text{\AA}$) к лабораторной длине волны, $z = \frac{\lambda_{\text{obs}} - \lambda_0}{\lambda_0}$. Часто в попу-

лярной литературе красное смещение интерпретируют в терминах эффекта Допплера – длины волн удаляющихся источников увеличиваются («краснеют»), а приближающихся – укорачиваются («голубеют»). Однако такая интерпретация предполагает движение источника в некоторой заданной внешней системе координат. Совершенно такой же эффект получается, если источник и наблюдатель покоятся в некоторой системе координат, но сами координатные оси деформируются. Стандартный пример – две точки на поверхности глобуса с переменным радиусом. Их координаты (скажем, долгота и широта) постоянны, но физическое расстояние между ними, которое можно измерить, например, натянув нитку между этими двумя точками, увеличивается (уменьшается) с увеличением (уменьшением) радиуса глобуса. Причем скорость изменения расстояния – производная во времени от физического расстояния – будет соответствовать закону Хаббла, где параметр Хаббла равен $H = (da/dt) / a$, где a – радиус шара, da/dt – скорость его изменения.

Ну хорошо, может сказать вдумчивый читатель, даже если это и так, то что заставляет Вселенную расширяться (или сжиматься)? Короткий ответ: никто и ничто, она просто не может (без специально подобранных условий) находиться в состоянии равновесия. Пространственно-временной континуум, заполненный любой формой

материи (частицами, полями), описывается уравнениями общей теории относительности (ОТО), сформулированной А. Эйнштейном в 1915 г. Известный исторический факт – Эйнштейн, поняв нестационарность уравнений при описании Вселенной, поддавшись искушению сделать Вселенную стационарной. Для этого он специально ввел в уравнения так называемую «космологическую постоянную» (обозначается греческой буквой Λ), которая способна в больших масштабах сделать Вселенную стационарной. Считается, что, узнав о факте расширения Вселенной, он отрекся от космологической постоянной, посчитав ее введение своим «величайшим заблуждением». Однако, как выяснилось уже в конце XX века, астрономические наблюдения (в частности, наблюдения далеких сверхновых, измерение флуктуаций температуры реликтового излучения, особенности формирования крупномасштабной структуры Вселенной) убедительно свидетельствуют о современном ускоренном расширении Вселенной, что можно объяснить с помощью космологической постоянной, так что величие гения Эйнштейна проявилось и в этом.

Что же играет роль радиуса a в космологии при описании строения и эволюции Вселенной? Это некоторая величина с размерностью длины, называемая «масштабным фактором». Именно для масштабного фактора записываются уравнения (впервые выведенные А.А. Фридманом в начале 1920-х гг. из уравнений Эйнштейна), описывающие его изменение в зависимости от «наполнения» Вселенной (точнее, средней плотности и давления вещества и полей, а также космологической постоянной). Уравнения Фридмана (теперь часто называют Фридмана–Леметра–Робертсона–Уокера по имени ученых, независимо получивших их несколькими разными методами) являются основой

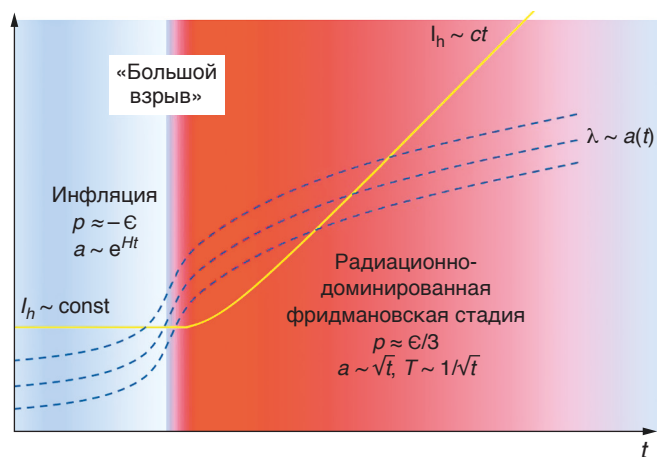
для описания глобальной эволюции (т. е. масштабного фактора) Вселенной. С их помощью получаются выражения для расстояний, возрастов объектов и других физических величин в зависимости от красного смещения.

Возмущения в расширяющейся Вселенной

Как сказано выше, в уравнения Фридмана, описывающие эволюцию масштабного фактора Вселенной, входят средние по всему объему значения плотности и давления. Но ведь окружающий мир состоит из звезд, галактик, скоплений галактик, и вариации плотности в них огромны – например, от сотни г/см³ в центрах звезд типа Солнца до 10⁻²⁴ г/см³ в разреженном межгалактическом газе. Поэтому одних уравнений Фридмана недостаточно для описания строения и эволюции Вселенной. К ним нужно добавить уравнения, описывающие эволюцию малых возмущений на фоне расширяющейся Вселенной. Как известно, в любой физической системе всегда есть флуктуации параметров (плотности, давления, температуры и т. д.). В обычных лабораторных условиях малые флуктуации (возмущения) обычно постоянно возникают и затухают (например, флуктуации плотности воздуха в комнате затухают из-за молекулярной вязкости). Иное дело в расширяющейся Вселенной. Здесь важным становится понятие «космологического горизонта» – причинно-связанной области в расширяющейся Вселенной. Оказывается, малые возмущения в однородной и изотропной расширяющейся Вселенной могут возрастать (усиливаться), только если их масштаб (размер) мень-

ше размера космологического горизонта (возмущение находится «под горизонтом», внутри причинно-связанной области), что кажется интуитивно естественным. Если же масштаб флуктуации больше горизонта, возмущение практически (с точностью до логарифмического фактора) не растет во времени, как бы «застывает». Физический размер возмущений всегда растет как масштабный фактор, а вот космологический горизонт – нет. Он растет пропорционально времени ($l_h \sim ct$), где c – скорость света, когда масштабный фактор растет с замедлением (математически – когда вторая производная от масштабного фактора по времени отрицательна), и постоянен ($l_h \sim \text{const}$), если масштабный фактор растет от времени экспоненциально. Отсюда следует важное для возникновения структур во Вселенной утверждение: если на самых ранних стадиях эволюции масштабный фактор рос квази-экспоненциально (эту стадию называют «инфляционной»), малые первичные возмущения росли до тех пор, пока не выходили за горизонт, затем они как бы «застывали» до тех пор, пока вновь не входили

Рис. 1. Схема роста первичных квантовых возмущений в расширяющейся Вселенной



«под горизонт» на более поздних (фридмановских) стадиях (см. рис. 1, иллюстрирующий это утверждение).

Размер возмущений всегда растет как масштабный фактор, $\lambda \sim a(t)$. Амплитуда возмущений растет внутри космологического горизонта, $\lambda < l_h$. За горизонтом возмущения «застывают» до повторного входа под горизонт на фридмановских стадиях после «Большого взрыва». На стадии инфляции космологический горизонт постоянен. На фридмановских стадиях горизонт линейно растет со временем ($l_h \sim ct$).

Инфляционная (де-Ситтеровская) стадия. Большой взрыв

Итак, самая ранняя стадия расширения Вселенной – инфляционная (говорят «де-Ситтеровская», по имени Виллема де Ситтера, впервые рассмотревшего в 1917 г. такой режим расширения, совместимый с уравнениями Эйнштейна в модели пустой Вселенной с положительной космологической постоянной), на которой масштабный фактор растет от планковских значений.

Примечание. Планковские единицы – величины с размерностью времени, длины и массы, которые можно составить из комбинации фундаментальных физических констант – скорости света, постоянной тяготения Ньютона G и постоянной Планка $\hbar$. Соответствуют минимальному времени ($t_{Pl} \sim 10^{-43}$ с), длине ($l_{Pl} \sim 10^{-33}$ см), и максимальной массе элементарной частицы ($m_{Pl} \sim 10^{-5}$ г), начиная с которых можно применять физические законы для описания природы. На инфляционной стадии нет обычного вещества (элементарных частиц); в наиболее популярных моделях Вселенная заполнена неким первичным скалярным полем – инфлатоном, которое медленно эволюцио-

нирует к минимуму потенциальной энергии, и при этом масштабный фактор растет экспоненциально. Вблизи минимума потенциальной энергии поле осциллирует, производя при этом элементарные частицы (фермионы – кварки и лептоны – электроны, нейтрино), которые «разогреваются» до высоких температур. При этом кардинально меняется уравнение состояния вещества – вместо экзотического отрицательного давления ($P = -\epsilon$, ϵ – плотность энергии), которое характеризует стадию инфляции, родившееся горячее вещество с высокой температурой имеет релятивистское уравнение состояния с положительным давлением $P = \epsilon/3$ (такое уравнение состояния имеют безмассовые частицы, например, фотоны, и вещество из массивных частиц, движущихся со скоростями порядка скорости света). Параметры модели подбираются так, чтобы обеспечить нужную величину расширения – порядка e^{60} . Таким образом, на стадии инфляции за время порядка 10^{-34} с масштабный фактор Вселенной увеличивается от планковских значений до примерно 1 мм, причем в конце инфляции рождается горячее вещество (кварки, лептоны). Собственно, это и есть «Большой взрыв» – рождение горячей пост-инфляционной Вселенной. После Большого взрыва Вселенная выходит на классические (фридмановские) стадии, на которых температура и плотность вещества падают (однако не изменяется плотность энергии космологической постоянной).

История расширения однородной изотропной Вселенной

Уравнения Фридмана показывают, что при положительном давлении масштабный фактор растет с замедлением (давление «весит» в ОТО и тормозит расширение). Начинаются «классические» (фридмановские) стадии

расширения – стадия доминирования «горячего вещества» (излучения, релятивистских частиц), продолжающаяся вплоть до красных смещений $z \sim 10^4$, после которой начинается стадия доминирования «холодного» вещества с уравнением состояния «пыли» ($p = 0$). До открытия ускоренного расширения Вселенной считалось, что сегодня Вселенная находится на этой пылевой стадии. Однако ускоренное расширение «спутало карты» – оказалось, что в современную эпоху масштабный фактор опять растет квази-экспоненциально. Причина этому точно не выяснена, но такое возможно при наличии во Вселенной очень маленькой (по квантово-механическим меркам) космологической постоянной или некоего экзотического вещества с вакуумоподобным уравнением состояния (отрицательным давлением), которое называют «темной энергией». Эта субстанция не сгущается в структуры под действием гравитации, как обычное вещество, и в больших масштабах создает эффективную «антигравитацию», которая и приводит к экспоненциальному росту масштабного фактора. Переход с пылевой на 2-ю квази-де-Ситтеровскую стадию произошел относительно недавно, при красных смещениях порядка $z \sim 0.6-0.7$.

История расширения Вселенной может быть схематически представлена таблицей:

Космологические параметры из астрономических наблюдений

В настоящее время космология из науки, оперирующей физическими величинами «по порядку величины», превратилась в прецизионную дисциплину. Из астрономических наблюдений космологические параметры измеряются с точностью лучше процента. Один из наиболее информативных каналов для космологии – измерение малых флуктуаций температуры реликтового излучения. После открытия расширения Вселенной в конце 1920-х гг. обнаружение фонового микроволнового (реликтового) излучения Пензиасом и Вилсоном в 1965 г. явилось одним из ключевых открытий XX века в науке. Реликтовое излучение – самый значительный «след» эпохи Большого взрыва. Фотоны реликтового излучения рождались при аннигиляции первичных пар частица-античастица. Если бы Вселенная после инфляции была строго симметричной (число частиц равнялось числу античастиц), все бы они аннигилировали в фотоны, и такая Вселенная была бы заполнена только излучением. Однако это не так – в среднем отношение плотности числа барионов (обычного вещества) к плотности числа реликтовых фотонов $\eta = n_b/n_\gamma \sim 10^{-9}$. Замечательно, что это отношение не зависит от красного смещения. Глобаль-

Стадии эволюции Вселенной			
Инфляция (де-Ситтер)	Фридман, доминирование излучения	Фридман, доминирование вещества	Современный де-Ситтер
Геометрия			
$a \sim e^{Ht}$	$a \sim t^{1/2}$	$a \sim t^{2/3}$	$a \sim t^{H_0 t}$
Физика			
$p \approx -\epsilon$	$p \approx \epsilon/3$	$p \ll \epsilon$	$p \approx -\epsilon$
Длительность (логарифм отношения конечного к начальному масштабному фактору) $N_H = \ln(a_{fin}/a_{in})$			
> 60	~ 55	7.5	0.5

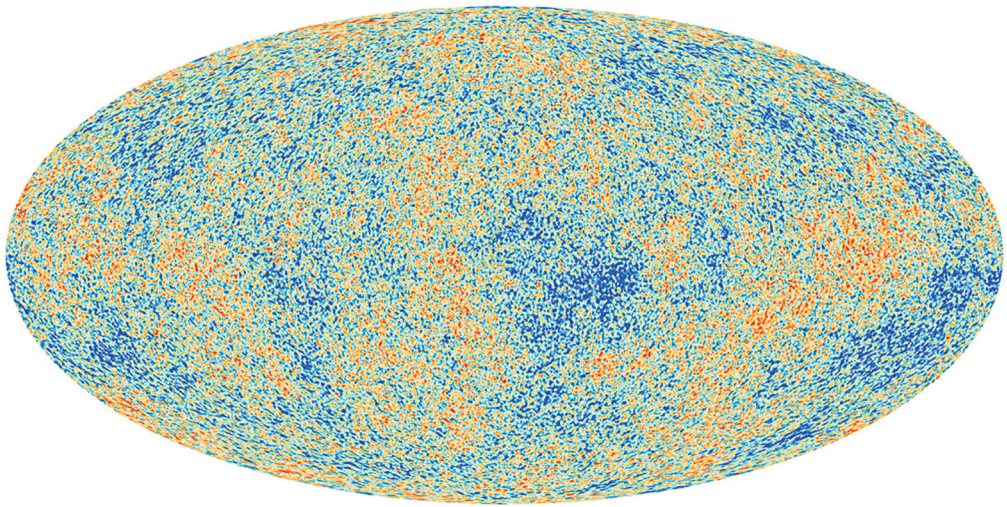


Рис. 2. Карта флуктуаций реликтового излучения по данным КА Planck (ESA), показывающая первичные квантовые флуктуации в эпоху рекомбинации. Более «горячие» области («материки») соответствуют областям пространства, в которых инфляция длилась несколько дольше, чем в областях с пониженной температурой («океаны»)

ное доминирование вещества над антивеществом во Вселенной называется «барионной асимметрией Вселенной», и его малая величина пока не получена из «первых принципов». Проблема барионной асимметрии Вселенной остается одной из загадок современной космологии.

Основные параметры современной однородной и изотропной космологической модели (Λ CDM, смысл такого названия станет скоро понятным) следующие. Это 1) средняя плотность барионного вещества – звезды, галактики, межзвездный и межгалактический газ и пыль ($\Omega_b \sim 0.05$), 2) плотность холодной темной материи – не взаимодействующей со светом субстанции, которая проявляет себя в больших масштабах по гравитационному взаимодействию ($\Omega_{dm} \sim 0.25$), 3) плотность энергии космологической постоянной ($\Omega_\Lambda \sim 0.7$), 4) современное значение параметра Хаббла $H_0 \sim 70$ км/с/Мпк. Все плотности принято нормировать на значение критической плотности

$p_{cr} = 8.6 \times 10^{-30}$ г/см³ – средней полной плотности всех компонентов Вселенной, при которой геометрия пространства евклидова (сумма углов треугольника равна 180 градусов). Современный возраст Вселенной 13.8 млрд лет.

Наблюдения показывают, что с точностью лучше процента полная плотность Вселенной равна критической $\Omega_b + \Omega_{dm} + \Omega_\Lambda = 1$, то есть геометрия Вселенной – плоская. Именно такую геометрию Вселенной и предсказывает инфляционная модель. К перечисленным космологическим параметрам нужно добавить амплитуду и наклон (зависимость спектра мощности от длины волны) первичного спектра флуктуаций, которые получаются из анализа наблюдений неоднородностей реликтового излучения. Амплитуда флуктуаций температуры 3-градусного реликтового излучения в масштабе примерно одного градуса равна $\Delta T/T \sim 10^{-5}$. Замечательно, что наклон спектра первичных возмущений с большой точностью совпадает

с предсказанием инфляционной модели, предложенной А.А. Старобинским в конце 1970-х гг.

На рис. 2 представлена карта флуктуаций температуры реликтового излучения по данным спутника Планк Европейского космического агентства (KA Planck ESA). Относительная амплитуда флуктуаций (разница между «горячими» – самыми красными и «холодными» областями – самыми синими) $\Delta T/T \sim 10^{-5}$. Флуктуации температуры связаны с флуктуациями плотности – чем плотнее область, тем горячее. Эта картина соответствует эпохе рекомбинации первичного водорода и гелия на красных смещениях $z \sim 1000$ (возраст Вселенной в это время около 400 тыс. лет) при температуре порядка 3000 К. До этого температура была слишком высока для образования атомов, поэтому барионное вещество находилось в состоянии плазмы. Реликтовые фотоны эффективно взаимодействовали с заряженными частицами – электронами, поэтому их длина свободного пробега была много меньше размера космологического горизонта. Иными словами, Вселенная до рекомбинации была непрозрачной для излучения. После рекомбинации свободных зарядов практически не осталось (они связались в атомы водорода и гелия), и Вселенная стала прозрачной для излучения. Поэтому карта реликтового излучения, приведенная на рис. 2, дает нам «портрет» Вселенной на красных смещениях сразу после рекомбинации. По сути дела, на ней мы видим картину первичных квантовых флуктуаций, сформировавшихся в ранней Вселенной, вышедших за космологический горизонт на первой де-Ситтеровской стадии с квазиэкспоненциальным расширением (см. рис. 1) и вновь вошедших под космологический горизонт к моменту рекомбинации.

Существенно, что до рекомбинации флуктуации существовали в горячей

плазме в виде акустических колебаний – «звуковых» волн. После рекомбинации упругость вещества резко упала, и флуктуации как-бы «застыли» в конфигурации (фазе), в которой оказались на момент отсоединения излучения от вещества (вспомним «немую сцену» гоголевского «Ревизора»!). Таким образом, карта реликтового излучения дает нам картину затравочных флуктуаций гравитационного потенциала, созданного возмущениями материи (в основном – холодной темной материи). В эти первичные потенциальные ямы стеклись барионы (обычное вещество), которые и создали наблюдаемые флуктуации температуры реликтовых фотонов.

Эпоха формирования структур во Вселенной началась гораздо позже рекомбинации, на красных смещениях $z \sim 100$. Формирование структур из возмущений происходило из-за гравитационной неустойчивости – более плотные области становились плотнее, а разреженные – разреженнее. В такие «минигало» темной материи стекались барионы в форме холодного молекулярного газа H_2 , HD и атомарного гелия. В отличие от холодной темной материи (частицы или составляющие которой взаимодействуют только гравитационно и не могут отдавать лишнюю энергию в виде излучения) барионное вещество – диссипативное, и при взаимодействии внутри минигало темной материи может создавать гравитационно-связанные образования с полной отрицательной энергией – звезды, галактики, скопления галактик. Образование и эволюция первичных звезд и галактик – тема последующих разделов.

В заключение первой части можно сказать следующее.

Современная стандартная космологическая Λ CDM-модель однородной изотропной Вселенной с космологической постоянной и холодной

темной материей основана на хорошо обоснованных физических принципах и теориях (квантовой механике, ОТО) и успешно описывает эволюцию Вселенной от ранних стадий (модель инфляции) до наших дней. Она проверена огромным количеством астрономических наблюдений. Несмотря на потрясающий успех, многие детали и даже крупные блоки модели остаются гипотетическими. Так, неизвестна природа ни темной материи, изучающейся почти 90 лет, ни темной энергии, которая выражается в современном ускоренном расширении Вселенной. Ряд предсказаний Λ CDM-модели (особенно для свойств крупномасштабной структуры Вселенной) не совсем согласуются с астрономическими наблюдениями галактик. Эти вопросы выходят за рамки настоящего краткого очерка и в настоящее время являются предметом тщательного научного исследования. Прорыв в наших знаниях о Вселенной, безусловно, ожидается в связи с новыми наблюдениями галактик, их групп и скоплений. Огромна роль физических экспериментов по поиску частиц темной материи. Однако пока они не дали положительного результата.

ЗАРОЖДЕНИЕ ГАЛАКТИК: ПЕРВЫЙ МИЛЛИАРД ЛЕТ ЖИЗНИ ВСЕЛЕННОЙ

Галактика – это огромная гравитационно-связанная звездно-газовая система. Чтобы мы признали, что родилась галактика, в ней должны образоваться звезды. Звезды, как учил нас классик Джеймс Джинс, образуются из газа, путем коллапса (сжатия) газовых облаков. Джинс считал, что газовые облака сжимаются под действием собственной гравитации; а вот чтобы этот процесс пошел, нужно, чтобы облако было достаточно массивным: тогда внутреннее

давление газа не сможет сопротивляться его самогравитации. Сейчас, сто лет спустя, после Джинса, концепция несколько изменилась: поскольку космологи убедили нас, что плотность темной материи во Вселенной в среднем в 5–6 раз больше, чем плотность барионной (газовой) материи, считается, что коллапсируют под действием собственной гравитации именно гало (сгустки) темной материи. А газ должен послушно следовать за темной материей и распределяться по объему формирующегося темного гало, приобретая так называемую равновесную вириальную температуру, соответствующую потенциальной энергии (массе) темного гало.

Из наблюдений почти равномерного распределения температуры реликтового фона по небу (см. 1 часть) известно, что изначально вся материя была распределена по Вселенной однородно. Но если в ней спонтанно образовывались уплотнения, они могли дальше расти, натягивая на себя окружающую материю. То есть все должно было начинаться с очень маленьких облачков, а потом они должны были расти. Это называется «иерархической концепцией» – первыми должны были родиться карликовые галактики, а гигантские – самыми последними. В скобках заметим: наблюдения на самом деле обнаруживают среди эволюционирующих галактик так называемый downsizing, то есть согласно наблюдениям первыми полностью сформировались именно гигантские галактики. Как это могло случиться, если темные гало формировались в противоположной последовательности, – это отдельная наука. Но все же для описания самого начала появления галактик попробуем последовать предписаниям теоретиков. Это отчасти вынужденная уступка, потому что именно *самое начало* мы в наблюдениях пока не видим.

С каких масс темных гало начинаются галактики?

Чтобы звезды могли сформироваться из газа – а мы полагаем, что понимаем этот процесс сжатия газового облака под действием собственной гравитации, результатом чего становится уплотнение и разогрев газа вплоть до поджига термоядерных реакций, – газ должен сначала остыть. Тот газ, который достался ранней Вселенной от Большого Взрыва, имеет простой и специфический химический состав: много водорода, в три раза меньше гелия и совсем крошечные следы лития. Совсем нет химических элементов тяжелее бора. Соответственно, совсем нет пыли, состоящей из «тяжелых элементов» – углерода, кремния, железа и т. д. Расчеты космологов показывают, что в ранней Вселенной, наполненной еще довольно теплым реликтовым излучением, газ может остыть до подходящих температур внутри темных гало, когда масса этих темных гало чуть-чуть превысит несколько десятков миллионов солнечных масс. Эта «подходящая» температура, которая должна соответствовать потенциальной гравитационной энергии гало, – несколько тысяч Кельвинов, точнее, где-то между 2000 К и 6000 К. Поскольку это ниже 10^4 К, атомарный водород не поможет газу дальше остывать. Единственный механизм, который можно предложить для остывания такому газу, с учетом его нулевой металличности, – это через излучение вращательных переходов молекулы H_2 . Этот механизм может охладить газ где-то в 10 раз – до 200 К. В этих условиях критическая джинсовская масса достигает примерно тысячи солнечных масс, и остывшие газовые сгустки смогут коллапсировать внутри своих темных гало и формировать звезды с типичными массами в несколько сотен солнечных масс каждая. Теоретики представляют это так: на красном смещении 20 или 30 или 40, внутри небольших темных гало

массой в миллион солнечных масс каждое рождаются массивные звезды с нулевой металличностью, по одной (или максимум по пять) на гало. Это еще не галактики, и даже не звездные скопления. Это отдельные звезды так называемого населения III. По определению классика наблюдательной астрономии Вальтера Бааде, в Млечном Пути наблюдаются звезды населения I (диск Галактики) и населения II (звездное гало Галактики). А звезды населения III не наблюдаются нигде. Но они обязаны были существовать в ранней Вселенной, потому что иначе, без горения в недрах звезд населения III и без их нуклеосинтеза, не случился бы переход от нулевой металличности газа к ненулевой. Сейчас в наблюдениях не известно звезд с нулевой металличностью – ниже одной тысячной от солнечного обилия тяжелых элементов увидеть в реальных объектах еще никому не удавалось. Сверхмассивные звезды населения III должны были очень быстро умереть – проэволюционировать за время порядка миллиона лет, произвести в своих недрах в ходе цепочек ядерных реакций некоторое количество тяжелых элементов и – взорваться сверхновыми, лучше без остатка. И вот когда газ обогатился тяжелыми элементами до уровня хотя бы одной тысячной от солнечной, должна была наступить эпоха «нормального» звездообразования, и только тогда должны были начать формироваться галактики. Теоретики дают для начала формирования галактик минимальные массы темных гало 10^8 солнечных масс. Это должны были быть карликовые галактики.

Какими должны были быть первые галактики?

После того как сформировались первые темные гало, весь газ в них должен был быть распределен по сфероидальному объему, и он должен был быть теплым, то есть неспособным образо-

вать звезды. Но газ, в отличие от темной материи, способен излучать фотоны; и он излучал и, излучая, остывал. Теряя энергию, газ оседал в потенциальную яму темного гало и накапливался там, формируя холодные плотные облака, уже способные к звездообразованию. И тут есть одно важное для формы будущей галактики обстоятельство: газ изначально имел момент импульса (угловой момент вращения). Дело в том, что формировались темные гало не в изоляции: их соседи, такие же коллапсирующие темные гало, пролетая мимо, раскручивали своим притяжением с одного бока будущую галактику. Темное гало приобретало момент импульса, а уже от темной материи этот момент импульса наследовали барионы. Если газ теряет энергию – это не значит, что он теряет момент импульса. Отнять у газа момент импульса довольно сложно, и излучение этому не помогает. Поэтому остывающий газ оседает в *диск*: экваториальная плоскость вращающегося темного гало предоставляет остывшему газу радиальное положение, соответствующее его угловому моменту вращения, с минимальной потенциальной энергией. Формируется вращающийся газовый диск. И уже в нем из остывшего газа будут образовываться звезды. Первые галактики должны представлять из себя звездные диски.

Описанная выше схема получила у теоретиков название «горячая аккреция», потому что газ по природе своей был теплым и, остывая, оседал на галактику – аккрецировал. Это был изначально ключевой момент теории формирования галактик в рамках космологической модели Вселенной. Однако не все получалось с формированием галактик «горячей аккрецией», и через некоторое время был предложен другой режим поставки газа для формирования звездного тела галактик –

«холодная аккреция». Дело в том, что эволюция распределения плотности темной материи во Вселенной имеет достаточно сложную геометрию. Это не только «центры силы», где собирается самая плотная концентрация гравитирующего вещества, но и соединяющие эти «центры силы» двумерные поверхности и одномерные «веревочки» – филаменты. В филаментах собирается и темная материя, и газ первичного химического состава, и этот газ тоже остывает. Однако гравитация «узла», к которому примыкает филамент, заставляет остывающий газ стекать вдоль филамента в узлы, где формируются галактики. Это тоже аккреция; только аккрецирует уже холодный газ, поэтому аккреция называется «холодной». И направление втекания газа в диск галактики при холодной аккреции уже не сверху-снизу перпендикулярно плоскости диска, а вдоль фиксированного направления, узким потоком. Этот поток, в частности, может лежать и в экваториальной плоскости гало – в плоскости диска галактики, и тогда аккрецирующий газ приносит с собой дополнительный орбитальный момент импульса, раскручивая диск и достраивая его самые внешние части. Эта особенность «холодной аккреции» очень ценна для построения моделей галактик, похожих на реальные спиральные галактики, которые как раз имеют протяженные газовые диски и быстро вращаются.

*А что же видно в наблюдениях?
Сначала методы поиска, подходы
к задаче*

Как искать на небе далекие галактики? Астрономы не сразу нашли самый эффективный подход. Первое, что приходит в голову: если мы хотим найти самые далекие галактики, их надо искать среди самых слабых, поскольку

ку чем дальше галактика, тем на большую поверхность сферы размазывается излучаемый ею свет, пока дойдет до нас. Дело усугубляется расширением Вселенной – поверхностная яркость далекого объекта на красном смещении z падает как $\sim(1+z)^{-4}$. Однако энтузиазм по поводу большого количества слабых голубых галактик на небе, проявленный астрономами в конце 70-х гг. XX века, быстро сошел на нет: спектральные измерения доказали, что красное смещение этих галактик в основном не превышает единицы. Следующая идея: поскольку моделирование спектров галактик показало, что индивидуальные истории звездообразования в галактиках – как правило, убывающие со временем, самые первые галактики должны были образовать свои звезды с небывалым темпом. В них должно было быть много молодых

звезд. Может быть, поискать у слабых галактик сильную водородную эмиссию Лайман-альфа от зон Стремгrena молодых звезд, сдвинутую красным смещением (эффектом Доплера) в оптическую область спектра? Этот метод, применявшийся в 80–90-х гг. XX в., тоже не принес заметного урожая далеких галактик. Успеха добился в конце концов только Чарльз Стейдэль, предложивший подход «Лайман-брейка» (Ly-break (лаймановский скачок)).

Если галактика только начинает образовывать звезды, у нее еще остается много холодного газа – в основном нейтрального атомарного водорода. А образовываться звезды, скорее всего, начинают в центральной части галактики – там плотность газа выше. Вот и получаем: мощное голубое излучение молодого звездного населения первым делом проходит

Рис. 3. Скопление галактик Abell 370 работает как гравитационная линза для галактик заднего фона. Изображение: NASA, ESA, the Hubble SM4 ERO Team and ST-ECF



через окружающую его «шубу» плотного нейтрального водорода. Такой газ – оптически толстый в лаймановском континууме. То есть все изучение на длинах волн короче (лабораторных) 912 ангстрем будет сразу полностью поглощаться, еще не уйдя далеко от галактики. Чарльз Стейдель применил простую арифметику: 912 ангстрем превращаются в 3648 ангстрем на красном смещении три. То есть молодые галактики на $z = 3$ будут совершенно не видны на Земле в фильтре U (где должен располагаться излученный далекой галактикой лаймановский континуум), зато будут ярко проявляться уже в соседнем фильтре B . Чарльз Стейдель испробовал эту методику в широкопольном наземном обзоре и сразу обнаружил несколько тысяч галактик на красном смещении три и более. Этот метод стал основным для поиска далеких галактик; только чем дальше галактика, тем более красные фильтры надо применять: галактики на $z = 5$ «пропадают» в фильтре V (видимый диапазон), галактики на $z = 7$ «пропадают» в фильтре I (ближний ИК-диапазон)... Сейчас, чтобы отобрать кандидатов в галактики на $z = 9-10$, нужно уже привлекать изображения участков неба на длине волны 4–5 микрона; а это уже фильтры не наземных наблюдений (земная атмосфера непрозрачна на 4 микронах), а данные космических телескопов «Спитцер» или «Джеймс Уэбб».

Другая методика, очень помогающая наблюдать самые далекие галактики, – это гравитационное линзирование. Сама природа обеспечивает астрономов дополнительным телескопом, усиливающим яркость далеких объектов, если они представляют собой объекты заднего фона рядом с более близким мощно гравитирующим темным гало – например, если они проецируются на небо рядом со скоплением галактик. Гравитация скопления на пути лучей

от далекой галактики искривляет лучи, «сводит» их в фокус, и происходит усиление сигнала на единицу площади. При этом искажается и форма изображения: характерные формы – это тонкие дуги с близким центром кривизны. Математические формулы общей теории относительности позволяют, при знании массы «гравитационной линзы» и уточнении трехмерной геометрии расположения объекта и линзы, восстановить и структуру изображения, и светимость далекой галактики. Благодаря специализированным обзорам гравитационно-линзированных объектов вблизи скоплений переднего фона уже составлены целые выборки галактик, наблюдающихся в первый миллиард лет жизни Вселенной.

Самая далекая галактика, отождествленная в наблюдениях, находится на красном смещении $z = 11$: это красное смещение подтверждено спектрально. Появившиеся после первых картинок Космического телескопа имени Джеймса Уэбба сообщения, что обнаружены галактики на красном смещении 17, несколько преждевременны: это пока только «кандидаты» в далекие галактики, ни один из этих кандидатов до сих пор не подтвержден спектрально. И все-таки уже $z = 11$ – это очень солидное расстояние: при возрасте Вселенной 13.77 млрд лет, это меньше полу-миллиарда лет после Большого Взрыва.

Что же видно в наблюдениях? Типы и характеристики ранних галактик

Можно сказать, что практически всю историю развития галактик мы наблюдаем в виде разнообразных по виду и параметрам галактик на разных красных смещениях. Как же связать их в единую эволюционную последовательность? Вообще говоря, это вызов прежде всего для теоретиков: надо ука-

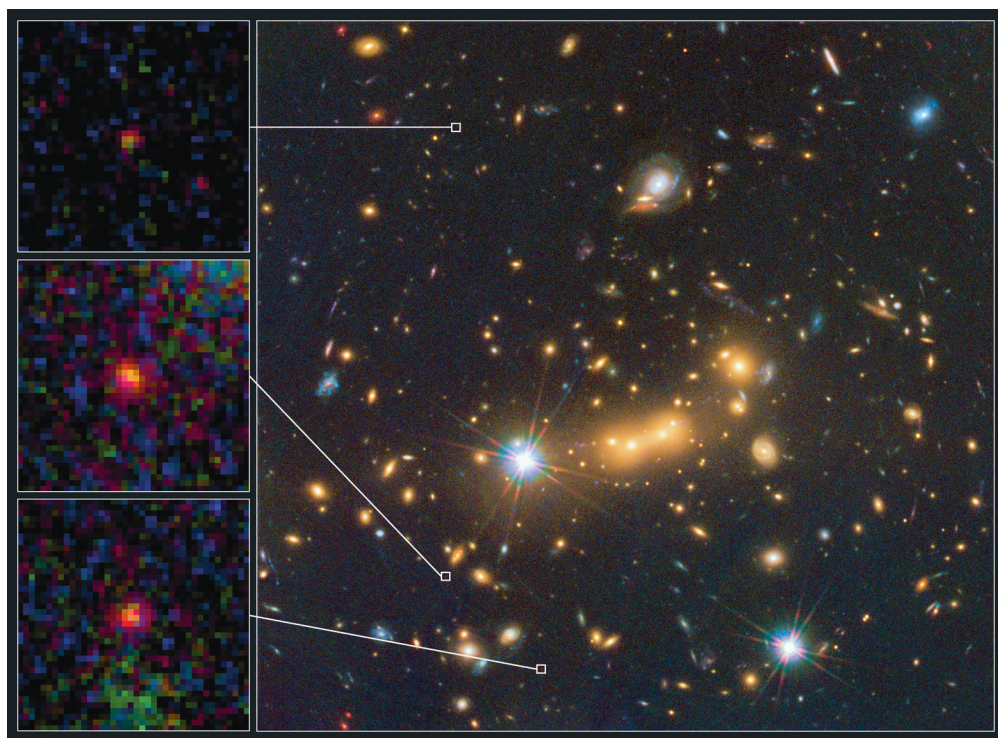


Рис. 4. Самая далекая из известных сейчас галактик MACS0647-JD. Ее красное смещение $z = 11$. Относительно легка для наблюдений, поскольку ее видимая яркость увеличена гравитационным линзированием, благодаря которому мы видим целых три изображения от одной далекой галактики. Изображение: NASA, ESA, and M. Postman and D. Coe (STScI) and CLASH Team

зять на физические механизмы, воздействующие в реальной Вселенной на галактики, которые предскажут наблюдаемые изменения параметров галактик: структурные, масштабные, динамические. А наблюдаемые изменения параметров галактик иногда оказываются совершенно неожиданными и не предсказанными никакими моделями... К чести теоретиков, необходимые (но не предсказанные заранее) механизмы обычно быстро находятся.

Итак, посмотрим, какие же галактики наблюдаются в ранней Вселенной, скажем, через один миллиард лет после Большого взрыва, на $z = 5$. Так называемые Ly-break галактики – это галактики, найденные методом Чарльза

Стейделя. Сам метод их поиска уже жестко определяет некоторые характеристики искомым объектов: это галактики с текущим, недавно начавшимся звездообразованием умеренной интенсивности, типично – в несколько десятков солнечных масс в год. Характерные звездные массы Ly-break галактик – 10 млрд масс Солнца. Не карлики, но и не гиганты. Удивительной особенностью Ly-break галактик является схожесть средних параметров этих объектов на $z = 5$, $z = 4$ и $z = 3$: все та же средняя масса 10 млрд масс Солнца. Звездообразование идет – но и спустя 1.5–2 млрд лет звездная масса галактик остается все той же. Вероятно, это так называемая наблюдатель-

ная селекция – следствие отбора галактик по жестким наблюдательным критериям. Или же звездообразование в Ly-break галактиках идет короткими вспышками, и мы наблюдаем их именно в момент этой вспышки.

Насчет характера звездообразования – идет оно короткими вспышками или меняется плавно со временем, на масштабах (полу-)миллиардов лет – это отдельный вопрос, очень интересный для науки об эволюции галактик. Дело в том, что в ближней Вселенной подавляющее большинство галактик, в которых идет звездообразование, принадлежат так называемой главной последовательности – это очень тесная зависимость между полной звездной массой галактики и ее темпами звездообразования. То есть для данной галактики, с ее известной массой, звездообразование протекает с некоторым фиксированным темпом, и этот темп тем выше, чем больше масса галактики. Обнаружив такую зависимость, астрономы, после некоторого размышления, пришли к выводу, что ее существование очень хорошо согласуется с идеей о постоянной подпитке звездообразования в диске галактики аккрецией газа извне. Действительно, газ аккрецирует под действием гравитации, а гравитационная сила притяжения как раз прямо пропорциональна массе притягивающей галактики. Данный процесс – аккреция + звездообразование из аккрецированного газа + рост массы звездной компоненты галактики в результате звездообразования – представляется очень плавным и регулярным во времени. А как же слияния галактик, которые обещали нам космологи? Они ведь всегда происходят «вдруг» и должны нарушать плавность эволюции галактики. Сначала теоретики «отнесли» эпоху доминирования слияний в эволюции галактик пораньше – на пик космической истории

звездообразования, на красное смещение $z = 2$. Но наблюдатели дотянулись и туда! Отнаблюдав несколько сотен галактик со звездообразованием на $z = 2-3$ с помощью инфракрасного телескопа «Гершель» и измерив их полные массы и темпы звездообразования, астрономы обнаружили, что и 10–11 млрд лет назад подавляющее большинство галактик образовывали свои звезды согласно их тогдашнему положению на «главной последовательности»! Только несколько процентов галактик оказались выше «главной последовательности». И астрономы сделали вывод, что и на пике космической истории звездообразования основной вклад в суммарное образование звезд вносили плавные процессы – вероятно, все та же (холодная?) аккреция внешнего газа на дисковые галактики.

Похоже, эта ситуация меняется только на красных смещениях $z > 4$. В первые 1.5 млрд лет жизни Вселенной, когда звездообразование еще не «раскошегарилось» в большинстве галактик, в наблюдательной статистике появляются признаки того, что галактики со вспышками звездообразования могут составлять значительную долю общего числа галактик. По крайней мере, половину. И на красном смещении $z = 4-5$ распределение галактик по «специфическим» темпам звездообразования (темпам звездообразования, нормированным на звездную массу галактики) является бимодальным – представляет собой два отдельных пика, между которыми разница в 10–20 раз!

Массивные галактики, со звездной массой более 100 млрд солнечных масс, тоже существуют на этих высоких красных смещениях. Но их нашли уже наблюдениями не в оптической области спектра, и даже не в ближней инфракрасной области, а на субмиллиметровых длинах волн. Природа оказалась устроена весьма хитро: галактики с са-

мой высокой болометрической светимостью и галактики с самыми высокими темпами звездообразования плохо видны в оптической области спектра, а основное их излучение принадлежит пыли, нагретой излучением молодых звезд. Самые мощные вспышки звездообразования, мощностью в сотни масс Солнца в год, все заключены в пылевые коконы, поглощающие их ультрафиолет и переизлучающие затем в дальнем инфракрасном диапазоне. В ближней Вселенной массивные галактики с такими вспышками звездообразования – их называют ULIRG (*Ultra-Luminous InfraRed Galaxies*) – имеют пик распределения энергии в спектре на (лабораторной) длине волны 100 микрон. На красном смещении 3–5 этот пик «переезжает» на длину волны 400–600 микрон. В дальней Вселенной массивные галактики со сверхмощными вспышками звездообразования надо искать на субмиллиметровых длинах волн. Земная атмосфера предоставляет два окна прозрачности на субмиллиметрах – это 450 и 850 микрон. И в 90-е г. XX в. специально для поиска далеких массивных галактик с большими темпами звездообразования, до сотен масс Солнца в год, на Гавайях был построен специализированный субмиллиметровый телескоп JCMT – *James-Clerk-Maxwell Telescope*. Он-то и обнаружил целое население субмиллиметровых галактик на красных смещениях $z > 2$. Эти галактики, при своей типичной звездной массе 100 млрд солнечных масс, лежат существенно выше «главной последовательности» и испытывают мощнейшие вспышки звездообразования. Сейчас, кроме JCMT, такие галактики активно ищут и находят еще два субмиллиметровых телескопа, установ-



Рис. 5. Субмиллиметровые массивные далекие галактики (обведены кружками), наблюдались в Ультраглубоком Хаббловском поле с интерферометром ALMA.
Изображение: NASA; ESA; G. Illingworth, D. Magee, and P. Oesch, University of California, Santa Cruz; R. Bouwens, Leiden University; and the HUDF09 Team

ленных в самых «сухих» местах нашей планеты – в Антарктиде, SPT (*South Pole Telescope*), и в чилийской пустыне Атакама, APEX (*Atacama Pathfinder EXperiment telescope*).

Каковы же типичные характеристики и возможный эволюционный статус субмиллиметровых галактик? Измерения с высоким пространственным разрешением – получение изображений горячей пылевой компоненты с миллиметровым интерферометром ALMA в пустыне Атакама – позволили оценить размеры этих галактик. Вспышки звездообразования с темпом от нескольких сотен до тысячи масс Солнца в год заключены в области радиусом всего 1 кпк! В некоторых случаях изображения субмиллиметровых галактик распадаются на множественные компоненты. Это позволяет исследователям спекулировать, что мы наблюдаем

слияние двух или нескольких массивных галактик, богатых газом. Именно от таких слияний и ожидают теоретики мощнейших и компактных вспышек звездообразования! Иногда множественности изображений не фиксируется, а видна только суперкомпактная сфероидальная область, заключающая в себя всю эту вспышку в тысячу масс Солнца в год. Если считать, что вспышка будет короткой (а она обязана быть короткой при таких безумных темпах звездообразования), то менее чем через 100 млн лет, после окончания вспышки, мы получим компактную сфероидальную галактику массой 100 млрд солнечных масс без звездообразования – типичную «затравку» будущей гигантской эллиптической галактики (массивные эллиптические галактики на $z = 2-3$ имеют радиус как раз 1 кпк). Так что субмиллиметровые галактики были объявлены ранней стадией формирования эллиптических галактик.

Однако наблюдения продолжают-ся, и недавние наблюдения все того же миллиметрового интерферометра ALMA принесли неожиданные данные о свойствах холодного газа субмиллиметровых галактик, которые сильно запутали ситуацию. Интерферометр ALMA может строить изображения объектов с высоким пространственным разрешением в разных длинах волн. Поэтому далекая галактика может быть картирована ALMA и в непрерывном излучении горячей пыли, и в линии молекулярного газа CO, и в линии атомарного газа – однажды ионизованного углерода [CII], – которая имеет лабораторную длину волны 158 мкм, превращающуюся в 800–900 мкм в излучении объектов на красном смещении 4–5. Такие комбинированные наблюдения выборки субмиллиметровых галактик на красном смещении 4.5 показали, что в то время как кокон горячей пыли, заключающий вспышку звездообразования, действительно очень compac-

тен и имеет радиус порядка 1 кпк, холодный молекулярный и атомарный газ простирается вокруг этого кокона в диске с радиусом в несколько килопарсек. И этот огромный газовый диск тонкий! То есть на самом деле мы видим не формирование эллиптической галактики, а формирование балджа в галактике дисковой. Причем наличие именно тонкого газового диска в галактике на красном смещении 4.5 оказалось неожиданным и с наблюдательной, и с теоретической точки зрения. Дело в том, что толщина газового диска определяется его динамической «температурой», то есть средней хаотической скоростью газовых облаков, уравновешивающей гравитацию галактики. У современных спиральных галактик ближней Вселенной эта средняя хаотическая скорость газовых облаков мала – не больше 10% от скорости вращения, и потому газовые диски тонкие. У далеких дисковых галактик на красном смещении $z = 2$ газовые диски значительно толще: средняя хаотическая скорость их газовых облаков уже сравнима, ну или не более чем в три раза меньше скорости вращения. Теоретики говорили: это оттого, что газа очень много в дисках, так работает гравитационная неустойчивость барионной компоненты галактики. И все ожидали, что еще дальше в раннюю эпоху жизни Вселенной газовые диски будут становиться все толще – ведь газа в галактиках там еще больше, он еще не успел там превратиться в звезды. Но оказалось все наоборот: ранние диски галактик – тонкие, хаотические скорости их газовых облаков снова становятся не более 10% от скорости вращения. Может, это оттого, что на $z = 4.5$ космические температуры звездообразования в несколько раз ниже, чем на $z = 2$? И природа турбулентности в газовых дисках галактик – энергетическая, а не гравитационная? Это в корне меняет все наши представления о ходе формирования галактик!

Черные дыры в центрах галактик: что было раньше, яйцо или курица?

В ближней Вселенной в центре почти каждой галактики проживает сверхмассивная черная дыра, масса которой – примерно 0.2%–0.3% от массы сфероидальной компоненты галактики (балджа). Такая тесная связь между звездной массой галактики и массой центральной черной дыры как бы намекает на то, что и звездный балдж, и центральная черная дыра растут в ходе эволюции галактики синхронно, плавно – вероятно, в результате одних и тех же событий. Обсуждались разнообразные сценарии эволюции: например, слияния галактик равной массы ведут к удвоению и массы балджа, и массы центральной черной дыры. Такие сценарии отлично встраивались в полную модель эволюции Вселенной в ходе иерархического сгущивания материи. Но, как водится, совершенствование и достижения наблюдений значительно портят красоту простых и гармоничных моделей.

В последние годы – буквально в последние 5–7 лет – астрономам-наблюдателям удалось открыть и исследовать *очень* далекие квазары. «Чемпион» по дальности сейчас – квазар на красном смещении $z = 7.54$. А всего на красных смещениях за $z = 6$ сейчас открыто более 200 квазаров. Это уже солидная статистика! И оказалось, что уже такие ранние квазары, проживавшие во Вселенной, возраст которой был меньше 1 млрд лет, имели массу центральной черной дыры около 1 млрд солнечных масс. Конечно, когда мы наблюдаем такие далекие объекты, мы в первую очередь выбираем самые яркие из них («эффект селекции»). Но верхний предел масс! В ближней Вселен-

ной он – несколько млрд масс Солнца (например, в M87 центральная черная дыра имеет массу 6 млрд масс Солнца), в далекой – всего в несколько раз меньше. И отношение массы центральной черной дыры к динамической массе всей галактики (измеряется также с интерферометром ALMA) тогда было в несколько раз выше, чем сейчас – от 100 до 20 вместо 300–500! То есть наблюдения говорят о том, что сначала вырастет центральная черная дыра, а уже потом – галактика вокруг нее. И предлагавшиеся ранее для роста центральной черной дыры механизмы, в частности – большой мерджинг (слияния массивных галактик), не работают для такого *быстрого* набора массы черной дырой.

Как только обнаружилось это обстоятельство, теоретики активно взялись за его проработку; и практически сразу же было предложено несколько сценариев, как можно быстро, за полмиллиарда лет, вырастить одинокую черную дыру массой миллиард солнечных

Рис. 6. Так, по мнению художника, взрывались первые сверхновые после смерти массивных звезд Населения III. После каждого из этих взрывов могла остаться черная дыра с массой до тысячи солнечных масс. Изображение: Adolf Schaller for STScI. Adolf Schaller for STScI



масс. В первую очередь, на красном смещении не меньше 40 уже должны существовать «затравки» – черные дыры меньших масс. Насколько меньших? Годятся «затравки» в тысячу масс Солнца каждая, а такие небольшие черные дыры могут быть просто остатками массивных звезд первого поколения, сформировавшихся из газа с нулевой металличностью. Но теоретики способны «формировать затравки» черных дыр и массой до миллиона масс Солнца каждая. Рассматривается прямой коллапс газового облака в центральную черную дыру, минуя фазу звездообразования. Если потоки газа устремляются к центру темного гало и если газ при этом теплый и не может остыть, то он не будет фрагментировать по дороге в сгустки звездных масс и формировать галактику, но прямо сформирует в центре черную дыру массой 10^5 – 10^6 солнечных масс. Главное – не дать газу остыть, чтобы он не мог сфрагментировать в объекты меньшей массы по дороге в центр, в диске. Для достижения этого предлагается греть газ ультрафиолетовым излучением извне – например, таким обогревателем может служить соседняя карликовая галактика, которая таки сформировала звезды (т. е. признается, что не всякая галактика, особенно карликовая, должна иметь черную дыру в центре?). Заметьте: чтобы успешно сформировать массивную «затравку» для будущей сверхмассивной черной дыры, нужно подавить звездообразование в диске, то есть отложить начало формирования галактики. То есть все же яйцо было раньше курицы... Однако есть и еще сценарии, со звездообразованием в самом центре – с плотным звездным скоплением в центре темного гало, звезды которого не выходят из протозвездной фазы, а быстро-быстро сливаются в единую черную дыру, массой опять же до миллиона солнечных масс. Есть и более

необычные сценарии про первичные черные дыры, доставшиеся Вселенной от Большого взрыва – их предел масс, 10^5 масс Солнца, как раз подходит для «затравок» будущих сверхмассивных центральных черных дыр галактик.

Если вокруг этой «затравачной» черной дыры сохраняется массивный газовый аккреционный диск, и если он подпитывается газом извне, дальше через эффективную дисковую аккрецию на эддингтоновском пределе – или временами даже со сверхэддингтоновским темпом, – можно за 700 млн лет вырастить сверхмассивную черную дыру в миллиард солнечных масс. А дальше в окружающем газовом диске начнут формироваться звезды и вокруг нее «нарастет» молодая галактика и начнется новый этап эволюции Вселенной.

Первые галактики начали формироваться, вероятно, на красном смещении 15–20. Недавно запущенный космический телескоп имени Джеймса Уэбба как раз обещает, что сможет увидеть эти объекты: у его большого зеркала хватит на это чувствительности, а у его приемников самый подходящий для этого спектральный диапазон – средний инфракрасный. Мы должны увидеть самые первые формы галактик – диски или сфероиды? Мы должны измерить их протяженность, массы и химический состав. Наверняка результаты этих наблюдательных открытий будут неожиданными. Наверняка теоретикам придется еще много поработать, чтобы связать воедино эволюционную цепочку для галактик, наблюдающихся на разных красных смещениях, от момента начала формирования до расцвета в эпоху «пика» космической истории звездообразования и до стабилизации форм и распределений характеристик, наблюдаемых сейчас. Основные открытия в эволюции галактик ждут нас в самом ближайшем будущем.

ТРЕТЬЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ ВИКТОРИНА ЮНЫХ ФИЗИКОВ ОТДЕЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК РАН

ГОЛОВАНОВА Алина Владимировна^{1, 2, 3},

МАГАРЯН Константин Арутюнович²,

НАУМОВ Андрей Витальевич^{1, 2, 3}

¹ Институт спектроскопии РАН

² Московский педагогический государственный университет

³ Троицкое обособленное подразделение ФИАН им. П.Н. Лебедева

DOI: 10.7868/S00044394823020020

С 1 по 16 мая 2022 года Отделение физических наук Российской академии наук (ОФН РАН) при организационной поддержке Московского педагогического государственного университета провели Третью всероссийскую викторину юных физиков ОФН РАН для учащихся 5–11 классов. Во время майских каникул представители РАН – академики, члены-корреспонденты и профессора из Отделения физических наук присылали школьникам хитроумные физические и астрономические задачи. В статье представлены результаты проведенной викторины вместе с условиями и решениями задач, подходящие под тематику журнала «Земля и Вселенная».

Одной из ключевых целей десятилетия науки и технологий, объявленного в нашей стране с 2022 по 2032 год, является привлечение молодежи в сферу науки и технологий. Молодежи, в том числе школьного возраста. Повышение престижа науки среди школьников, рост знаний о достижениях Российских ученых – важные задачи, которые необходимо выполнить для достижения поставленной цели. Проведение викторины, вопросы в которой задают представители «большой науки», – способ такую задачу выполнить. Вот уже третий год представители Отделения физических наук (ОФН) Российской академии наук (РАН) встречаются со школьниками во время майских каникул и задают свои авторские вопросы по всевозможным естественнонаучным темам. Безусловно, такие задачи не только расширяют кругозор школьников, но и знакомят с представителями академической науки, тем самым они – большие ученые, дирек-

тора институтов, заведующие лабораториями, становятся ближе к простым школьникам. Возможность испытать опыт такого взаимодействия есть у любого учащегося из любого уголка нашей большой страны. Что более важно, школьники в ходе знакомства с авторами вопросов узнают, что та самая «большая наука» и «большие ученые» находится не только в «больших городах», а находятся к ним ближе, чем они могут себе это представлять.

С 1 по 16 мая 2022 года Всероссийская викторина юных физиков ОФН РАН состоялась в третий раз [1]. Интересующиеся читатели могут найти заметки о прошедших первой и второй викторинах в наших прошлых выпусках [2–4]. Традиционно вопросы викторины предполагали поиск и анализ информации, решение творческих задач, проведение экспериментов. Вопросы были заданы в девяти тематических турах от ведущих академиков, членов-корреспондентов и про-

Третья Всероссийская Викторина Юных Физиков Отделения Физических Наук РАН

1 – 16 мая 2022 г. <https://grad.ac.ru/edu>

10 акад., 9 чл.-корр., 11 проф. РАН; 11 городов, 30 институтов РАН и ВУЗов ⇄ >2100 участников, >150 населенных пунктов, >150 школ (в т.ч. >55 базовых школ РАН)
9 туров, 27 вопросов, 3 уровня/возраста

Иван Александрович Шеголов – Академик-секретарь ООН Академии РАН

Сергей Яковлевич – Вице-президент РАН РБ

Александр Михайлович – Президент РАН Академии РАН

Александр Михайлович – Президент РАН Академии РАН



Авторы заданий Третьей викторины ОФН РАН

фессоров ОФН РАН – 10 академиков, 13 членов-корреспондентов и 4 профессора РАН из Екатеринбурга, Казани, Махачкалы, Минска, Москвы, Нижнего Новгорода, Новосибирска, Санкт-Петербурга, Саратова и Черногловки.

Викторина стала серьезной проверкой участников на логичность рассуждений, грамотное использование физических и математических законов, умение отбирать верные примеры. Каждый тур викторины содержал по три вопроса для каждой из трех возрастных групп (5–7 классы, 8–9 классы, 10–11 классы). За каждое верно решенное задание можно было получить до трех баллов. За оригинальные решения, проведение практических опытов и детализированное рассмотрение предложенных проблем участники Всероссийской викторины по физике имели возможность получить дополнительный балл от авторов заданий.

«Мне очень понравилась олимпиада!!! Я учусь всего лишь в 6 классе, физика у нас в Гимназии начинается со следующего года, но мне интересно было поучаствовать и понять, какие силы у меня есть. Я, конечно, обращалась к разным источникам, отвечая на вопросы, но это хорошая зарядка для головы!! Спасибо огромное за интересные задания! Буду стараться участвовать дальше!» Меньшаева София Алексеевна, Балашиха, мкр. Железнодорожный, МАОУ Гимназия 1, 6 Г.

Первый тур викторины, стартовавший 1 мая 2022 года, был приурочен к объявленному в 2022 году десятилетию науки и технологий. Вопросы в первом туре задавали руководители трех научно-исследовательских институтов: директор Физического института им. П.Н. Лебедева РАН, член-корреспондент РАН Колачевский Николай Николаевич поставил задачу о снежном комочке, катящемся по снегу. Директор Института физики высоких давлений им. Л.Ф. Верещагина РАН, академик РАН Бражкин Вадим Вениаминович спросил про то, как в стакане с водой плавает кубик. Директор Института ядерных исследований РАН член-корреспондент

РАН Либанов Максим Валентинович задал вопрос по мотивам книги Л. Кэрролла «Алиса в Зазеркалье».

Во втором туре задания школьникам задавали представители Поволжья. Заведующий кафедрой оптики Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н.Г. Чернышевского член-корреспондент РАН Тучин Валерий Викторович задал экспериментальное задание по теме пропускания света сквозь дисперсионные среды. Из Казанского физико-технического института им. Е.К. Завойского два вопроса, от директора – члена-корреспондента РАН Калачева Алексея Алексеевича про жука, ползущего по бесконечно растягивающейся резиновой ленте, и научного руководителя института – академика РАН Салихова Кева Минуллиновича о том, почему надо сильно подогреть воду, чтобы заварить чай.

Третий тур был посвящен космической астрофизической обсерватории «Спектр-Рентген-Гамма», которая вот уже третий год собирает для нас информацию о Вселенной. Вопросы в третьем туре были сугубо астрономические. Заведующий отделом физики и эволюции звезд Института астрономии РАН профессор РАН Вибе Дмитрий Зигфридович поинтересовался, что не так с картиной А.П. Боголюбова «Итальянское побережье». Заведующий лабораторией внегалактической радиоастрономии Астрокосмического центра Физического института имени П.Н. Лебедева РАН член-корреспондент РАН Ковалёв Юрий Юрьевич спросил о скорости джетов, вырывающихся из центров далеких галактик. Научный руководитель Института космических исследований РАН академик РАН Зелёный Лев Матвеевич задал расчетную задачу о точках Лагранжа.

В четвертом туре вопросы задавали представители северной Столицы. Заведующий лабораторией Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе РАН академик РАН Сурис Роберт Арнольдович спросил, как лучше носить



Церемония награждения второй викторины ОФН РАН
Фото А.В. Рузаева (МПГУ), www.single-molecule.ru

шубу – мехом внутрь или наружу. Главный научный сотрудник Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук профессор РАН Родина Анна Валерьевна задавала задачу о туристическом семейном походе. Ведущий научный сотрудник Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе РАН член-корреспондент РАН Михаил Михайлович Глазов спросил о подвижности электронов.

Пятый тур, состоявшийся 9 мая, был приурочен ко Дню победы. Вопросы в туре задавали: директор Института физики Дагестанского научного центра РАН член-корреспондент РАН Муртазаев Акай Курбанович спросил о путешествии трех льдин по течению реки. Заведующий лабораторией спектроскопии конденсированных сред ИАиЭ СО РАН член-корреспондент РАН Суровцев Николай Владимирович попросил описать процессы, происходящие с фруктами во время варки компота. Директор Института физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения РАН академик РАН Мушников Николай Варфоломеевич задал вопрос о том, что сделали

французские инженеры, чтобы превратить Эйфелеву башню в гигантский термометр.

Шестой тур состоял из вопросов от представителей Москвы. Профессор кафедры физики колебаний Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова профессор РАН Пятаков Александр Павлович задал вопрос о фонаришке из сказки Экзюпери «Маленький принц». Главный научный сотрудник лаборатории теории твердого тела Физического института им. П.Н. Лебедева РАН член-корреспондент РАН Арсеев Пётр Иварович предложил абстрактную задачу о тонущем колесе, к которому герметично привязан мешок, в который можно спустить воздух из колеса. Директор Института физических проблем им. П.Л. Капицы РАН академик РАН Дмитриев Владимир Владимирович задал вопрос о токах Фуко внутри металлического цилиндра.

В седьмом туре вопросы задавали: заведующий сектором моделирования экстремальных волновых явлений в океане Института прикладной физики РАН профессор РАН Слюняев Алек-

Вторая Всероссийская Викторина Юных Физиков
Отделение Физических Наук РАН
 1 – 16 мая 2021 год
<https://gpad.ac.ru/edu/>

484 участника, 2265 ответов, 56 городов,
 92 школы (35 базовых школ РАН)
 8 туров, 26 вопросов, 3 уровня/возраста

Абсолютный победитель Второй викторины	Победитель возрастной группы 10–11 класс	Победители возрастной группы 8–9 класс	Победитель возрастной группы 5–7 класс	Победитель смешанной возрастной группы
Старыгин Егор Артемович Экономико-математический лицей № 29 г. Ижевск (Базовая школа РАН)	Решетникова Ксения Андреевна ГБОУ МО СР ФМЛ г. Сергиев Посад (Базовая школа РАН)	Садовский Виктор Владимирович Гимназия № 13 «Академ» г. Красноярск (Базовая школа РАН)	Иггеройнен Алексей Андреевич Лицей № 17 г. Кострома	Птицын Михаил Антонович Физико-технический лицей № 1 г. Саратов (Базовая школа РАН)
				

Первое место по количеству призеров (9 человек) занял «Инженерный лицей НГТУ» г. Новосибирска
 Второе место (5 человек) заняли 2 школы: «Лицей № 17» г. Северодвинск и «Экономико-математический лицей № 29» г. Ижевск
 Третье место (4 человека) занял «Лицей № 77» г. Челябинска
 Все вышеперечисленные школы являются Базовыми школами РАН.

58 победителей и призеров
 представили собой 29 разных школ
 из 26 городов. 21 школа из 29 –
 Базовые школы РАН

Победители второй викторины ОФН РАН

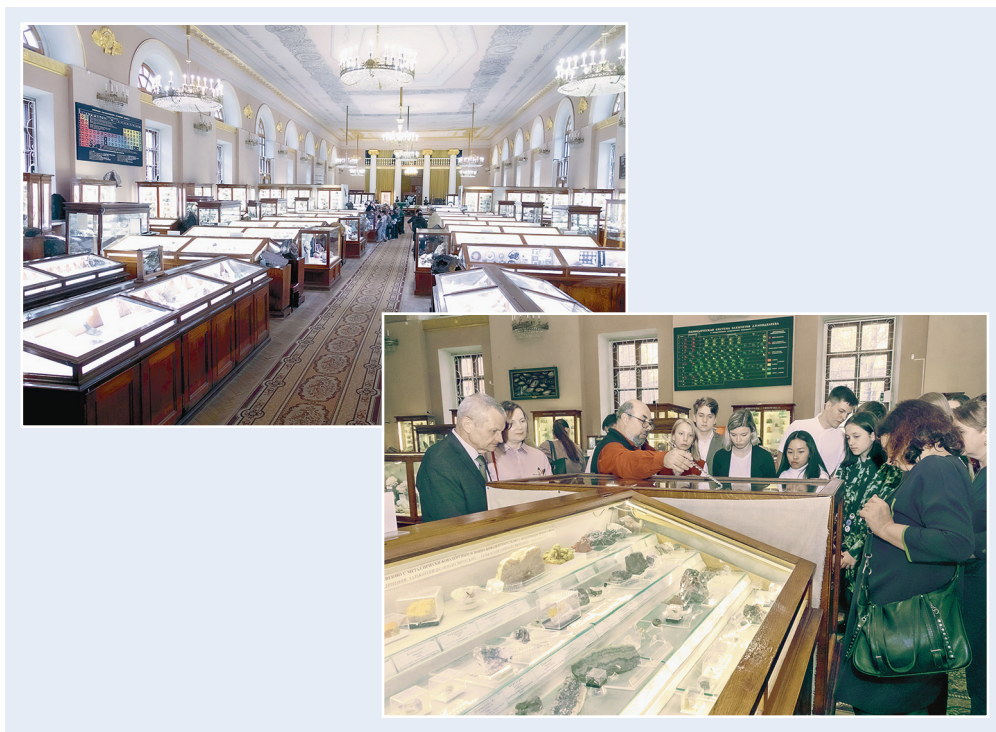
сей Викторович с вопросом об узорах на реке, в которую бросили камень. Научный руководитель Института физики твердого тела РАН академик РАН Виталий Владимирович Кведер задал вопрос по мотивам «Гиперболоид инженера Гарина» А.Н. Толстого. Член-корреспондент РАН Александр Александрович Чернов из Института кристаллографии им. А.В. Шубникова РАН задал вопрос о скорости срабатывания термометра.

Восьмой тур 15 мая, приуроченный к учрежденному ЮНЕСКО Международному дню света и световых технологий открывал заведующий отделом спектроскопии конденсированных сред Института спектроскопии РАН член-корреспондент РАН Наумов Андрей Витальевич вопросом о «Незнайкиной радуге». Ведущий научный сотрудник ИФП им. П.Л. Капицы РАН член-корреспондент РАН Смирнов Александр Иванович поставил задачу о двух лодках у причала. Заведующий лабораторией и заместитель директора Института космических исследований РАН член-корреспондент РАН Лутовинов Александр Анатольевич

предложил вопрос об орбитальном периоде станции.

В специальном заключительном туре президент РАН академик Сергеев Александр Михайлович спросил школьников о том, как и какую мы получаем информацию о черных дырах. Иностраннный член РАН, заместитель председателя президиума Национальной Академии наук Республики Беларусь академик НАН РБ Килин Сергей Яковлевич попросил найти общее и различное у парникового эффекта и у парника (теплицы). Академик-секретарь ОФН РАН, академик РАН Щербаков Иван Александрович задал вопрос о пределах изменений фазовой и групповой скорости света.

Участники могли попробовать свои силы не только в решении задач своей возрастной категории, но и в категориях старше. В связи с большим количеством таких участников была отдельно выделена номинация призеров и победителей. По итогам третьей викторины было получено и проверено 10 042 ответа, участие приняли 2440 участников из 166 населенных пунктов 32 регионов и двух стран, представивших



Во время экскурсии в минералогический музей. Фото А.В. Рузаева (МПГУ), www.single-molecule.ru

354 школы, из которых 52 школы – это базовые школы РАН. Участникам, принявшим участие более чем в пяти турах викторины, были подготовлены и отправлены 887 электронных сертификатов, подтверждающих их участие в мероприятии.

По окончании Третьей викторины, 22 апреля 2022 года, наградили победителей и призеров Второй всероссийской викторины юных физиков Отделения физических наук РАН.

По традиции церемония прошла в историческом здании Президиума РАН, дипломы участникам вручал лично Президент РАН Сергеев А.М. Мероприятие посетили пятеро победителей и 27 призеров викторины.

После окончания церемонии награждения все школьники отправились на обзорную экскурсию в один из старейших Минералогических музеев мира – Минералогический музей име-

ни А.Е. Ферсмана РАН. В рамках данной экскурсии участники узнали, что большая часть объема Земли и других планет Солнечной системы состоит из минералов; прикоснулись к красоте минерального мира и получили представление о том, как образуются минералы, как они исследуются и используются; познакомились с экспозициями наиболее распространенных и редких минералов, кристаллов, метеоритов, поделочных, ювелирных и драгоценных камней.

Абсолютным победителем Третьей викторины юных физиков стала ученица 7 класса ГБОУ МО «Одинцовский Десятый лицей» Полякова Полина Евгениевна из города Одинцово, набравшая 30 баллов в своей возрастной категории и 59 баллов суммарно по всем категориям.

В младшей возрастной категории, набрав одинаковое количество – 28 баллов, победителями стали ученица 7 класса МБОУ Лицея «Физико-техни-

ческая школа» Иванова Алина Юрьевна из города Обнинска и ученица 7 класса ГБОУ МО «Одинцовский Десятый лицей» Леденева Елизавета Павловна из города Одинцово.

В средней возрастной категории победителями, набравшими по 31 баллу, стали учащаяся 9 класса МАОУ «Инженерный лицей НГТУ» Демидович Ольга Юрьевна из города Новосибирск и учащийся 8 класса МБОУ «Школа № 60 имени пятого гвардейского Донского казачьего кавалерийского Краснознаменного Будапештского корпуса» Чубаров Данил Валерьевич из города Ростов-на-Дону.

В старшей возрастной категории, набрав 28 баллов, победителем стал учащийся 10 класса ГБОУ УР «Экономико-математический лицей № 29» Старилин Егор Артемович из города Ижевск.

И победителем в смешанной категории стал учащийся 7 класса МАОУ «Лицей № 17» Кислицын Илья Алексеевич из города Северодвинск, набравший 49 баллов.

Всего победителями и призерами 2-ой и 3-ей степени Третьей викторины юных физиков стали 69 человек

из 40 населенных пунктов и городов России (Саратов, Челябинск, Краснодар, Самара, Электросталь, Ижевск, Воронеж, Истра, Красноярск, Сергиев-Посад, Балашиха, Саранск, Тамбов, Набережные Челны, Саров, Архангельск, Магнитогорск, Троицк, Новороссийск, Северодвинск, Лиски, Долгопрудный, Химки, Новосибирск, Ростов-на-Дону, Стерлитамак, Ярославль, Москва, Жуковский, Белоозерский, Нефтекамск, Ивanteeвка, Клин, Бугульма, Лыткарино, Киров, Ульяновск, Одинцово, Обнинск, с. Поводимово в Республике Мордовии).

Викторина Отделения физических наук РАН на 2022/23 учебный год вошла в перечень официальных мероприятий Министерства просвещения Российской Федерации. Организаторы рассчитывают, что такая поддержка Министерства позволит талантливым школьникам при поступлении в университеты.

Для читателей журнала «Земля и Вселенная» с разрешения авторов публикуются вопросы Викторины, имеющие непосредственное отношение к тематике журнала.

Благодарности:

Коллектив организаторов викторины благодарит Министерство Просвещения РФ за поддержку в рамках темы Государственного задания Московского педагогического государственного университета (AAAA-A20-120061890084-9).

Авторы являются членами ведущей научной школы Российской Федерации «Оптическая наноскопия квантовых объектов и диагностика перспективных материалов» (грант Президента РФ НШ-776.2022.1.2).

Литература

1. Викторина юных физиков [Электронный ресурс]. URL: <https://gpac.ac.ru/edu/> (Дата обращения: 03.02.2023).
2. Наумов А.В., Голованова А.В., Магарян К.А. Викторина юных физиков Отделения физических наук РАН // Земля и Вселенная. 2020. № 5. С. 47–52.
3. Наумов А.В., Голованова А.В., Магарян К.А. Викторина юных физиков Отделения физических наук РАН // Земля и Вселенная. 2020. № 6. С. 72–74.
4. Голованова А.В., Магарян К.А., Наумов А.В. Вторая викторина юных физиков Отделения физических наук РАН. Вопросы, ответы // Земля и Вселенная. 2022. № 3. С. 47–49.
5. Голованова А.В., Магарян К.А., Наумов А.В. Вторая викторина юных физиков Отделения физических наук РАН. Вопросы, ответы // Земля и Вселенная. 2022. № 2. С. 30–37.

Вопрос 1 (5–7 классы)

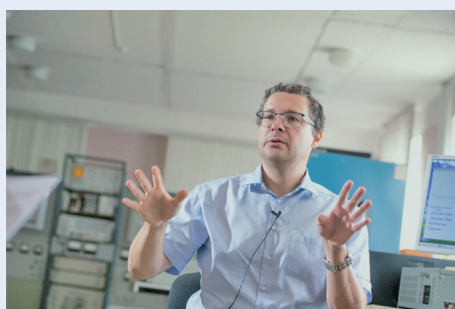


ВИБЕ Дмитрий Зигфридович,
доктор физико-математических наук, профессор РАН
Институт астрономии РАН

В экспозиции Новосибирского художественного музея представлена картина А.П. Боголюбова «Итальянское побережье». Что на ней не так?

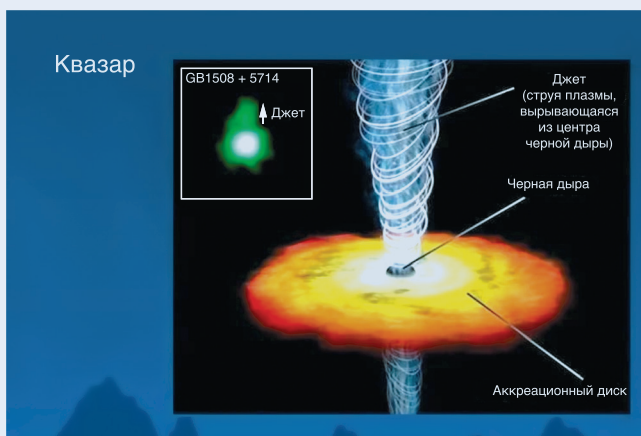


Вопрос 2 (8–9 классы)



КОВАЛЁВ Юрий Юрьевич,
Член-корреспондент РАН, профессор РАН
Астрокосмический центр
Физического института имени П.Н. Лебедева РАН
Московский физико-технический институт

В центрах далеких активных галактик вещество разгоняется до очень больших скоростей и выбрасывается в виде светящихся плазменных струй. Движение плазменных сгустков в струях астрономы наблюдают с Земли. Какова максимальная наблюдаемая скорость движения этих ярких пятен по струям и при каких условиях ее можно наблюдать?



Вопрос 3 (10–11 классы)



ЗЕЛЁНЫЙ Лев Матвеевич,
академик РАН
Институт космических исследований РАН

В космических исследованиях все большее значение приобретают космические аппараты (КА), работающие в так называемых точках Лагранжа L_1 и L_2 на линии Земля – Солнце на расстоянии 1.5 млн км от Земли.

В точке L_1 , находящейся между Землей и Солнцем, КА имеет возможность постоянно наблюдать Солнце и служить монитором солнечного ветра – что очень важно для предсказаний космической погоды.

В точке L_2 аппарат, наоборот, находится далеко от Земли, которая при этом экранирует для него большую часть излучений, приходящих от Солнца. Это очень важно для проведения астрофизических наблюдений объектов в дальнем космосе.

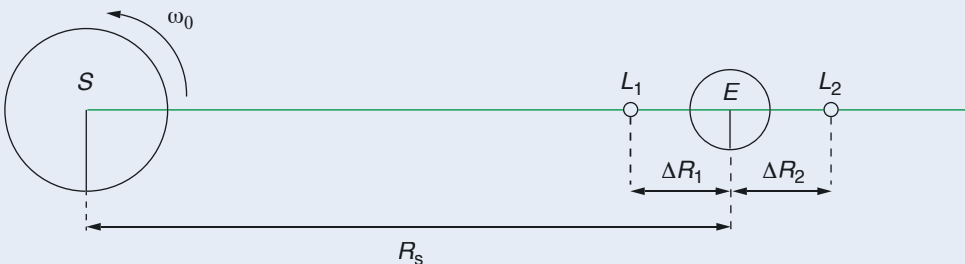
С 2019 года в точке L_2 работает замечательный российский аппарат «Спектр-Рентген-Гамма», имеющий два (российский и немецкий) телескопа для регистрации рентгеновского излучения активных ядер галактик и других объектов с экстремальным выделением энергии. Туда же в январе 2022 года добралась знаменитая инфракрасная обсерватория *James Webb Space Telescope*, имеющая самое большое зеркало (диаметром 6.5 метра) из когда-либо запущенных человечеством.

Как определить расстояние до этих замечательных точек от Земли?

В математике такие задачи называются задачей трех тел (Солнце, Земля, космический аппарат) и не имеют общего решения. Однако для случая, когда одно тело (Солнце) намного тяжелее другого (Земля) задачу приближенно решить можно! Попробуйте!

Подсказка: Искать положение этих точек, исходя из предположения, что в них силы гравитации Земли и Солнца уравновешивают друг друга – неправильно.

Дано: $\frac{M_e}{M_s} \cong \frac{3}{10^6}$ ($M_e = 6 \cdot 10^{24}$ кг, $M_s = 2 \cdot 10^{30}$ кг), $R_s = 150$ млн км



Вопрос 4 (5–7 классы)



ПЯТАКОВ Александр Павлович,
доктор физико-математических наук, профессор РАН
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

В сказке Экзюпери Маленький принц попал на планету, где жил фонарщик. «Тяжкое у меня ремесло. Когда-то это имело смысл. Я гасил фонарь по утрам, а вечером опять зажигал. У меня оставался день, чтобы отдохнуть, и ночь, чтобы выспаться... Моя планета год от года вращается все быстрее, а уговор остается прежний. Планета делает полный оборот за одну минуту, и у меня нет ни секунды передышки. Каждую минуту я гашу фонарь и опять его зажигаю».

Как вы думаете, что может быть причиной ускорения вращения планеты? Где вы видели подобное явление ускорение вращения на Земле?

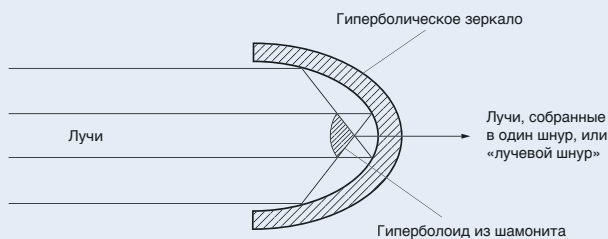


Вопрос 5 (8–9 классы)



КВЕДЕР Виталий Владимирович,
академик РАН
Институт физики твердого тела РАН

В книге Алексея Николаевича Толстого «Гиперболоид инженера Гарина» приведен следующий чертеж такого «гиперболоида»:



Так, как описано в книге, когда источником света являются горящие пирамидки из термита, этот прибор работать не будет. Для реализации такого устройства нужно освещение большого зеркала либо точечным источником света (для гиперболического зеркала) либо параллельным пучком света (для параболического зеркала). Однако, что если использовать солнечный свет? Он ведь почти параллельный!

Рассмотрим такой проект: В космосе, на орбите высотой 200–300 км, огромный надувной шар (давление газа внутри достаточно иметь совсем небольшим) из тонкой лавсановой (майларовой) пленки, половина которого покрыта тонким слоем алюминия. Например, диаметр 500 м, толщина пленки 5–10 мкм. Лучи большого зеркала фокусируются на малое зеркало, диаметром 1 метр, нужной формы, которая адаптивно подстраивается так, чтобы пятно на Земле имело маленький диаметр. Мощность света будет $W \sim 1 \text{ кВт/м}^2 \cdot 0.25 \cdot 10^6 \text{ м}^2 = 250\,000 \text{ кВт}$. Достаточно для плавления на поверхности земли металла, камней, земли.

Можно ли реализовать это устройство, используя солнечное излучение?

Вопрос 6 (5–7 классы)



НАУМОВ Андрей Витальевич,
доктор физико-математических наук,
член-корреспондент РАН, профессор РАН
Троицкое обособленное подразделение
Физического института им. П.Н. Лебедева РАН
Институт спектроскопии РАН,
Кафедра теоретической физики им. Э.В. Шпольского МПГУ

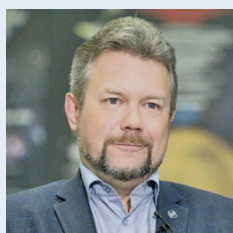
Вернувшись с ночной прогулки, Незнайка заявил друзьям-коротышкам, что видел радугу. Знайка сначала посмеялся над фантазиями Незнайки, ведь он-то хорошо знал, как появляется радуга в солнечный день. Но подумав немного, Знайка разработал теорию, как увидеть такую радугу и чем она отличается от обычной. Но всякая теория требует проверки.

Как вы считаете, что предложил Знайка, что нужно сделать, чтобы увидеть «Незнайкин радугу», и чем она отличается от обычной.

А еще вы можете получить дополнительный балл, если найдете подходящую к этому вопросу «житейскую мудрость» Козьмы Пруtkова.



Вопрос 7 (10–11 классы)



ЛУТОВИНОВ Александр Анатольевич,
доктор физико-математических наук,
член-корреспондент РАН, профессор РАН
Институт космических исследований РАН

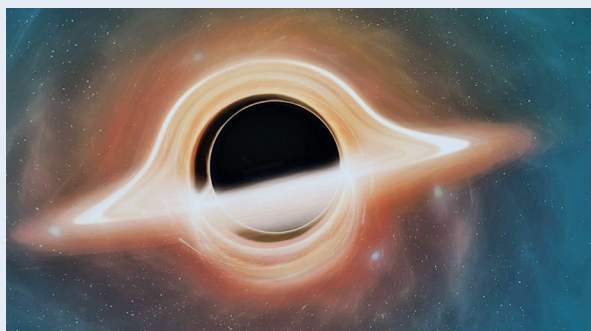
Космонавт на борту орбитальной станции заметил, что в любой момент времени его взору доступно 60% неба. Определите орбитальный период станции. Считать, что иллюминаторы станции позволяют производить наблюдения в любом направлении, влиянием атмосферы Земли пренебречь.

Вопрос 8 (для всех возрастов)

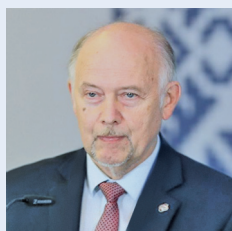


СЕРГЕЕВ Александр Михайлович,
академик РАН

В каком диапазоне длин волн электромагнитного излучения проще всего обнаружить черную дыру, а в каком – исследовать ее форму?



Вопрос 9 (для всех возрастов)



КИЛИН Сергей Яковлевич,
доктор физико-математических наук, академик НАН РБ,
иностраный член РАН, заместитель председателя президиума
Национальной Академии наук Республики Беларусь

Что общего и в чём различия, с точки зрения физики, у парникового эффекта как геофизического явления и у обычного парника (теплицы)?



Ответы см. на стр. 104

60 ЛЕТ ЗНАКОМСТВА С Н.С. КАРДАШЁВЫМ И 30 ЛЕТ РАБОТЫ ПОД ЕГО РУКОВОДСТВОМ

ДАГКЕСАМАНСКИЙ Рустам Давудович,

доктор физико-математических наук

Пушчинская радиоастрономическая обсерватория АКЦ ФИАН

DOI: 10.7868/50044394823020032

Мне грех жаловаться на свою судьбу – в жизни мне часто везло. Но, при всем этом, едва ли я мог рассчитывать на то, что мне посчастливится проработать на протяжении 30 лет под непосредственным руководством такого замечательного человека, как Николай Семёнович Кардашёв¹.



Академик Н.С. Кардашёв

Знакомы мы были с начала 1960-х гг., когда я, будучи молодым специалистом, только что приступившим к работе на Радиоастрономической станции ФИАН

¹ Николай Семёнович Кардашёв (к 70-летию со дня рождения) // Земля и Вселенная. 2002. № 3. С. 44–48; Курт В.Г. Николай Семёнович Кардашёв (к 80-летию со дня рождения) // Земля и Вселенная, 2012. № 2. С. 52–57.

(Физический институт Академии наук СССР) в Пушино², по настоянию одного очень заботливого старшего коллеги был «внедрен» в группу молодых радиоастрономов, работавших в Астрономическом институте им. П.К. Штернберга (ГАИШ МГУ) под руководством И.С. Шкловского³. Каждую неделю я,

практически без пропусков, приезжал из Пушино в Москву на семинары, проходившие под руководством Иосифа Самуиловича. Почти всякий раз мы виделись с Колей Кардашёвым, но мне не приходят на память какие-либо тесные контакты, и даже совместные обсуждения каких-либо проблем в первые 5–6 лет. В то же

время мне уже были достаточно хорошо известны его замечательные пионерские работы и о возможности наблюдения спектральных радиопри-

² Кузьмин С.О. Пушино – радиоастрономический центр // Земля и Вселенная. 1979. № 5. С. 47–53.

³ Курт В.Г. Иосиф Самуилович Шкловский (к 90-летию со дня рождения) // Земля и Вселенная. 2006. № 4. С. 60–65; Гиндилис Л.М. Иосиф Самуилович Шкловский (к 100-летию со дня рождения) // Земля и Вселенная. 2016. № 5. С. 90–102.



Радиотелескоп ДКР-1000 Пушинской радиоастрономической обсерватории. Антенна Восток-Запад состоит из 37 мачт с 40-метровыми параболическими фермами. Фото АКЦ ФИАН

ний высоковозбужденных атомов, и об эволюции спектров источников синхротронного излучения, да и многие другие. Более тесные контакты у нас с Николаем Семёновичем установились несколько позже. О некоторых из них, оставивших глубокий след, я расскажу ниже чуть подробнее.

Так, в начале 1968 г. состоялся семинар, на котором И.С. Шкловский сообщил об открытии группой Энтони Хьюиша (Кембриджский университет, Англия) четырех источников строго периодических импульсных сигналов⁴. Это сообщение вызвало бурную дискуссию, продолжавшуюся и после окончания семинара. Многих интересовал вопрос, а нет ли возможности пронаблюдать какие-то из этих объектов в Пушчине на нашем радиотелескопе метрового диапазона Восток-Запад ДКР-1000. Закончилось это обсуждение тем, что вместе со мной в Пушчино поехали Коля

Кардашёв и Слава Слыш. И хотя приехали мы на нашу Радиоастрономическую станцию ФИАН (РАС ФИАН) уже к концу рабочего дня, тем не менее наше появление с таким чрезвычайно интересным сообщением привело к тому, что уже после 7 часов вечера на моей квартире собралось стихийное производственное совещание. В связи с тем что руководитель РАС ФИАН В.В. Виткевич был в отъезде, это совещание возглавил его заместитель по научным вопросам Вячеслав Анатольевич Удальцов. Помимо меня и Удаль-

цова в этой встрече приняли участие еще несколько пушинских научных сотрудников. И хотя присутствовавшие высказывали соображения о том, что для регистрации столь короткопериодических сигналов потребуется, пусть небольшая, но все же перестройка выходных каскадов радиометров, используемых на антенне В-3 ДКР-1000, было решено предпринять такую попытку.

Примерно к 10 часам вечера мы пришли на меридианный радиотелескоп В-3 ДКР-1000, включили радиометры на 86 и 38 МГц и попытались зарегистрировать импульсы пульсара CP0834+06 в момент его верхней кульминации. Безрезультатно. И это неудивительно, поскольку минимальное время интегрирования выходных каскадов радиометров составляло порядка одной секунды, то есть было соизмеримо с периодом следования импульсов этого пульсара ($P = 1.27$ с). То же повторилось и спустя 3 часа при попытке зарегистрировать импульсы пульсара CP1133+16, период которого составляет

⁴ Хьюиш Э. Пульсары. Гинзбург В.Л. Что такое пульсары? // Земля и Вселенная. 1971. № 2. С. 19–27.

1.19 с. От попытки регистрации импульсов CP0950+08 мы и вовсе отказались, поскольку период следования импульсов этого пульсара и вовсе составляет 0.25 с. Стало ясно, что без перестройки выходных каскадов радиометров, которая потребует одного-двух дней, регистрация импульсов этих первых пульсаров невозможна.

Сильно огорченные, мы втроем уже в третьем часу ночи вернулись ко мне домой и улеглись спать. Наутро Коля со Славой уехали в Москву. Через несколько дней, по возвращении Виктора Витольдовича Виткевича из командировки, необходимая перестройка имевшихся радиометров была выполнена и на антенне В-3 ДКР-1000 были зарегистрированы первые импульсы пульсаров. Регулярные наблюдения пульсаров на нескольких волнах метрового диапазона на радиотелескопе В-3 ДКР-1000 начались чуть позже, когда были изготовлены уже специальные пульсарные радиометры. К концу 1968 г. был открыт первый пушинский пульсар PP0943+10.

Через полтора года после этих памятных событий мною была подготовлена к защите кандидатская диссертация. Официальными оппонентами были назначены доктор физико-математических наук Н.С. Кардашёв и кандидат физико-математических наук Ю.Н. Парийский⁵. Однако менее чем за месяц до защиты выяснилось, что Николай Семёнович не сможет принять участие в соответствующем заседании диссертационного совета, поскольку не успеет вернуться из командировки (насколько помнится, в США). В срочном порядке необходимо было найти замену первому оппоненту. Эту задачу удалось решить достаточно оперативно – свое согласие дал доктор фи-

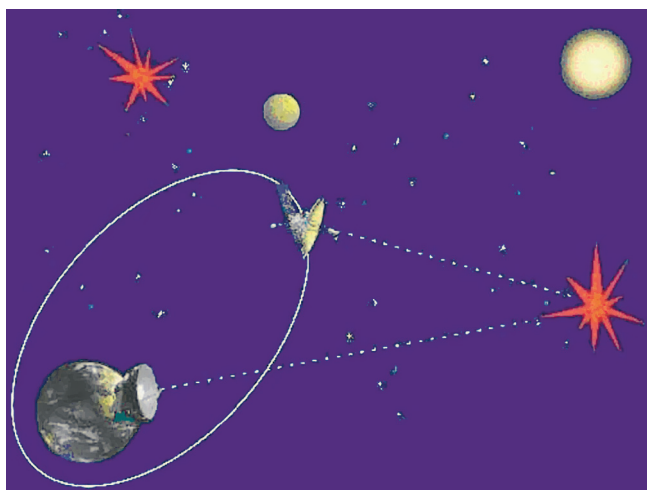


Ю.Н. Парийский и академик Л.А. Арцимович.
1969 г.

зико-математических наук Г.Г. Гетманцев (НИРФИ, г. Горький). Помимо этого на защите требовалось представить еще и письменный отзыв Николая Семёновича. Для упрощения (а заодно, и ускорения) подготовки такого отзыва Н.С. Кардашёв предложил мне приехать в ГАИШ МГУ. Наша беседа длилась более трех часов, в течение которых я не только изложил основное содержание диссертации, но и ответил на большое число вопросов Николая Семёновича. После этой нашей весьма приятной и содержательной беседы он попросил меня подождать, пока он напишет свой отзыв и заверит его печатью. Через пару часов общения с присутствовавшей в соседней комнате Таней Лозинской я получил на руки положительный отзыв, который был приложен к прочим документам, поданным ранее в диссертационный совет ФИАН.

Спустя 20 лет, в 1988 г., я был приглашен Н.С. Кардашёвым принять участие в выездном заседании Международной комиссии по проекту

⁵ Семёнова Т.А., Темирова А.В. Юрий Николаевич Парийский // Земля и Вселенная. 2016. № 5. С. 84–89.



Упрощенная схема процесса наблюдений на наземно-космическом радиоинтерферометре «Радиоастрон». На рисунке изображена эллиптическая орбита аппарата «Спектр-Р» с космическим радиотелескопом КРТ-10 на борту. Красными звездочками обозначены основные объекты исследований – радиогалактики и квазары, находящиеся далеко за пределами Солнечной системы

наземно-космического интерферометра «Радиоастрон» (RISC)⁶, которое произошло в Узбекистане примерно в течение недели. За эти несколько дней члены комиссии и несколько приглашенных специалистов посетили Ташкент, Самарканд, Бухару и даже плато Суффа, где в то время начиналось строительство миллиметрового радиотелескопа диаметром 70 м. В Ташкенте, где проходили основные заседания комиссии, предварившие ознакомительные поездки по остальным пунктам, я проживал с Николаем Семёновичем вместе в одном гостиничном номере. Прекрасно помню, насколько сильно меня поразила его работоспособность. И ведь

6 Александров Ю.А., Кардашёв Н.С., Ковалёв Ю.Ю. и др. Радиоастрон (проект «Спектр-Р») – радиотелескоп много больше Земли. Наземный сегмент и основные направления научных исследований // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2011. № 3 (19). С. 19–30.

то была даже не проработка какой-то увлекательной научной идеи, а работа руководителя большого проекта над протоколами заседаний, формулировками решений комиссии, наконец, над намечавшимися на следующий день докладами. Николай Семёнович сам засиживался над всеми этими делами до глубокой ночи, ему лишь изредка помогал В.В. Андреянов, который на том этапе, как я понимаю, выполнял функции технического руководителя проекта «Радиоастрон» в целом.

Примерно через год после этой хорошо запомнившейся мне поездки, произошло «великое

объединение», – так в шутку в нашем коллективе называют процесс перехода возглавляемой Н.С. Кардашёвым группы сотрудников ИКИ РАН в ФИАН и объединение этой группы с сотрудниками отдела радиоастрономии ФИАН, в результате чего был сформирован Астрокосмический центр ФИАН. Таким образом, начиная с 1990 г. тематика радиоастрономических исследований в ФИАН существенно расширилась – к традиционным исследованиям, выполнявшимся с использованием имеющихся трех наземных радиотелескопов, прибавилось нескольких других направлений, успешно развивавшихся под руководством Н.С. Кардашёва, В.И. Слыша и И.Д. Новикова. Но, главное, к середине 1990-х гг. уже значительная часть сотрудников бывшего отдела радиоастрономии ФИАН (который с 1994 г. приобрел статус филиала ФИАН «Пушинская радиоастрономическая обсерватория»), была вовлечена



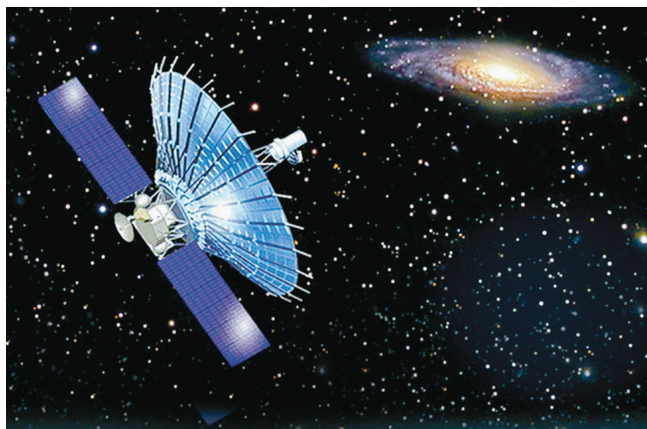
Антенна космического радиотелескопа КРТ-10 проекта «Радиоастрон»:

Слева – рабочий макет радиотелескопа КРТ-10 во время испытаний на полигоне в Пушчине (2004 г.), справа – готовый радиотелескоп КРТ-10 во время испытаний автоматической системы его раскрытия в НПО им. С.А.Лавочкина (2009 г.)

в выполнение работ по проекту наземно-космического радиоинтерферометра «Радиоастрон».

В 2003 г. в обсерватории было завершено начатое по инициативе Николая Семёновича строительство полигона для испытаний космических радиотелескопов, на котором позже были проведены испытания космического радиотелескопа КРТ-10 для проекта «Радиоастрон». Перед запуском космического аппарата «Спектр-Р» радиотелескоп РТ-22 в Пушино был оснащен необходимым оборудованием для использования его в качестве основного инструмента Наземной станции слежения по проекту «Радиоастрон». На протяжении первых 3.5 лет работы наземно-космического радиоинтерферометра все данные, которые получались на КРТ-10, в режиме он-лайн принимались только радиотелескопом РТ-22, после чего пересылались из Пушино в Центр обработки данных проекта. Позже к выполнению тех же функций приступила и вторая Наземная станция слежения, расположенная в г. Грин-Бэнк (США) и работавшая там на базе 40-метрового радиотелескопа Национальной радиоастрономической обсерватории США.

На протяжении всех 30 лет работы под руководством Н.С. Кардашёва каждая неделя в АКЦ ФИАН начиналась с заседания в его кабинете дирекции АКЦ, на которой в первую очередь рассматривались вопросы, касающиеся проекта «Радиоастрон». В первые 20 лет работы (вплоть до запуска аппарата «Спектр-Р») это были вопросы, касающиеся проведения испытаний отдельных узлов конструкции, а позже и антенны в целом, подготовки бортовой радиоприемной аппаратуры, создание Наземной станции слежения и центра обработки данных. Обсуждались вопросы возможного участия отечественных и зарубежных крупных наземных радиотелескопов в системе будущего наземно-космического радиоинтерферометра, а также широкий круг научных задач, которые планировалось решать в рамках проекта «Радиоастрон». В обсуждении всех этих, зачастую далеко не научных, проблем Николай Семёнович принимал самое активное участие, но, конечно, не без помощи сформировавшегося вокруг него дружного коллектива помощников из Астрокосмического центра. Так, непосредственное взаимодействие с руководством



Космический аппарат «Спектр-Р» с антенной КРТ-10 обсерватории «Радиоастрон» исследует объекты Вселенной. Рисунок

и вовлеченными в проект сотрудниками НПО им. С.А. Лавочкина осуществляла Лариса Николаевна Лихачёва, а в подготовке научной программы активное участие принимали В.И. Слыш, А.В. Алакоз, В.Е. Якимов, Ю.Ю. Ковалёв, М.В. Попов и другие⁷.

Принятию окончательных решений по научным, техническим и даже организационным вопросам всегда предшествовали открытые дискуссии, на которых высказывались порой противоположные мнения. Николай Семёнович очень внимательно, не перебивая, выслушивал как сторонников, так и оппонентов своей точки

зрения, но окончательное решение, как правило, принималось им лично. Некоторые из принимаемых им решений поначалу казались, и не только мне, не оптимальными, но практически всякий раз со временем становилось ясно, насколько он был прав. Так было при принятии им очень важного решения об увеличении апогея орбиты космического аппарата «Спектр-Р» с планировавшихся ранее 80 тыс. до 360 тыс. км. Это решение Н.С. Кардашёва казалось

весьма рискованным и даже ошибочным, и оно не было поддержано подавляющим большинством членов Международной комиссии RISC, которая



Радиотелескоп с параболическим рефлектором РТ-22 АКЦ ФИАН диаметром 22 м. Он вступил в строй в начале 1959 г. и был первым в мире крупным радиотелескопом, способным работать в миллиметровом диапазоне волн. Фото ПРАО РАН

⁷ Кардашёв Н.С. «Радиоастрон» – радиотелескоп много больше Земли. Научная программа // Успехи физических наук. 2009. Т. 179, № 1. С. 1191–1202; Кардашёв Н.С., Алакоз А.В., Ковалёв Ю.Ю. и др. «Радиоастрон»: итоги выполнения ранней научной программы исследований объектов Вселенной // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2014. № 3 (24). С. 4–13.

из-за этого практически приостановила на какое-то время свою работу. Но успешный запуск аппарата на высокую орбиту с апогеем около 360 тыс. км и перигеем чуть менее 7 тыс. км (который, медленно эволюционируя, за 9 лет работы увеличился до 70 тыс. км), а главное, весьма интересные результаты, полученные на максимальных базах наземно-космического радиointерферометра, полностью оправдали это решение Николая Семёновича.

Практически столь же сомнительным мне поначалу представлялось решение Н.С. Кардашёва использовать наш радиотелескоп РТ-22 в качестве антенны Наземной станции слежения в проекте «Радиоастрон». Но когда по прошествии восьми с лишним лет работы станции слежения в Пушино стало

ясно, что эффективность ее в итоге составила более 98%, я должен был признать, что решение об использовании своего радиотелескопа РТ-22 для этих целей было более чем оправдано.

Высокая работоспособность, которую Николай Семёнович сохранил до самых последних дней, поражала всех. Как правило, утром на работе в АКЦ первым появлялся именно директор. Круг его научных интересов всегда был чрезвычайно широк. Он вникал достаточно глубоко во все направления исследований, которые велись в АКЦ. Не всегда и не всё устраивало его, но свое мнение он высказывал всякий раз очень корректно – так, что на него невозможно было обидеться. Это был выдающийся ученый, мудрый и очень добрый человек.

издательство

НАУКА

— 1727 —

**А вы отправили
обязательный
экземпляр?**

**Издательство «Наука» предлагает организациям
и независимым издателям услугу по отправке
Обязательного Электронного Экземпляра
в Российскую государственную библиотеку
и Российскую книжную палату**

При размещении научных, научно-популярных книг и журналов в Электронной библиотечной системе
Издательства «Наука» (libnauka.ru) данную услугу мы предоставляем бесплатно
Задать вопрос и узнать о стоимости услуги вы можете по адресу oe@naukapublishers.ru

Реклама

ВОСПОМИНАНИЯ О НИКОЛАЕ КАРДАШЁВЕ: ОТ АСТРОФИЗИКИ ДО ИНОПЛАНЕТЯН¹

КЕЛЛЕРМАНН Кен,

Национальная радиоастрономическая обсерватория США,
член Национальной академии наук США,
иностраннный член Российской академии наук

DOI: 10.7868/50044394823020044

Я познакомился с Николаем Семёновичем Кардашёвым весной 1965 года, во время своего первого визита в Москву. Я только что завершил работу на позиции постдока в CSIRO² в Австралии. Астроном Барт Бок (Bart Bok)³, которого хорошо знали советские астрономы, договорился с русскими коллегами о том, что я буду гостем Астрономического совета при Академии наук СССР и проведу две недели, чтобы познакомиться с состоянием радиоастрономии в Союзе. Частично мой визит оплачивала Комиссия по обмену астрономами Международного астрономического союза (МАС)⁴. Мне выпала возможность совершить путешествия в Ленинград, Крым, Харьков и Армению, чтобы посетить радиоастрономические установки и встретиться со многими ведущими советскими учеными. Я везде читал лекции о недавних результатах радиоастрономических исследований в США и Австралии. В то время научные журналы попадали



в СССР с большой задержкой, поэтому мои лекции вызывали большой интерес, за ними следовали множество вопросов и дискуссий.

Моей первой остановкой стала Москва, где я жил в огромной гостинице «Украина», окна которой выходят на Москва-реку. Я приехал 5 мая 1965 года, так что мне выпала возможность принять участие в волнующей церемонии празднования двадцатой годовщины окончания Великой Отечественной войны. Помню, как видел советских руководителей на вершине мавзолея Ленина на впечатляющем военном параде на Красной площади.

Я был знаком с хорошо известными статьями Николая, посвященными рекомбинационным радиолиниям (Кардашёв, 1959)⁵, охлаждению синхротронного излучения (Кардашёв,

¹ Memories of Nikolai Kardashev from Astrophysics to Extraterrestrials. Перевод с англ.: Закутняя О.В.

² Сокращение от Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, «Союзная научная и промышленная исследовательская организация». – Здесь и далее прим. перев.

³ Bartholomeus Jan “Bart” Bok (1906–1983).

⁴ International Astronomical Union, IAU.

⁵ Kardashev, N.S. 1959, On the Possibility of Detection of Allowed Lines of Atomic Hydrogen in the Radio-Frequency Spectrum, Astron. Zh. 36, 838.



Студент МГУ Николай Кардашёв. 1952 г.

1962)⁶ и его размышлениям о природе внеземных цивилизаций (Кардашёв, 1963)⁷. Поскольку он уже был известен во всем мире благодаря этим работам в трех совсем различных областях науки, я предполагал, что увижу пожилого заслуженного седовласого ученого, и был очень удивлен, когда оказалось, что Николай Кардашёв – это молодой человек, похожий на мальчишку, с черными вьющимися волосами.

Я не особенно воодушевился исследованиями рекомбинационных радиолиний (radio recombination lines, или RRLs), хотя, по мере их развития несколько месяцев спустя я находился у 43-метрового телескопа Грин-Бэнк⁸, когда Бертиль Хоглунд (Bertil Höglund) и Питер Мецгер (Peter Mezger) зарегистрировали отчетливую линию

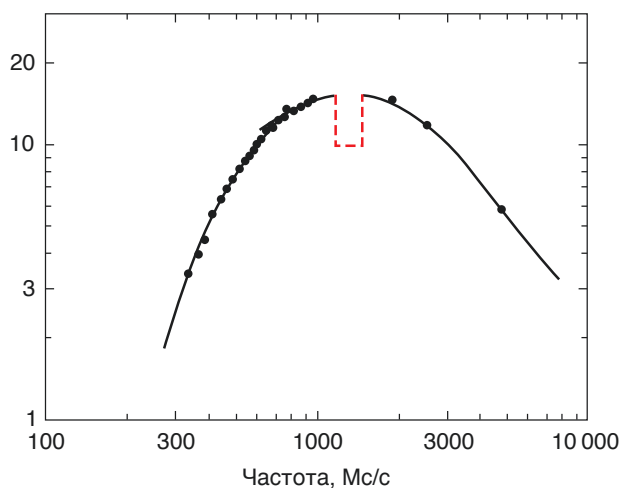
109-альфа в области M17 и других галактических зонах HII⁹. Эти линии генерируются, когда электроны на возбужденных орбитах возвращаются на более низкие энергетические уровни, испуская квант излучения. Однако в более ранних теоретических работах полагали, что, из-за большого размера возбужденных атомов водорода, линии будут «размазаны» в результате взаимодействия с ближайшими атомами, и наблюдать их будет нельзя. Николай был первым, кто указал, что это не так, и предсказал, что RRLs можно наблюдать с помощью существующих радиотелескопов. Первые такие линии были обнаружены двумя независимыми русскими научными группами из Ленинграда и Москвы. Тем не менее, когда в 1964 г. эти результаты были представлены на Генеральной Ассамблее МАС в Гамбурге, на них в основном не обратили внимания. Частично это произошло из-за плохо подготовленного визуального материала, а также из-за того, что результат был получен на пределе возможностей, и языковых трудностей. Кроме того, все происходило на исходе очень жаркого дня, так что и выступающие, и аудитория изнывали от зноя, устали и были готовы расходиться. Как бы то ни было, если забыть о возникшем споре о том, какая именно группа первой наблюдала RRLs, предсказание Николая Кардашёва о том, что эти линии МОЖНО наблюдать экспериментально, оказалось пророческим и открыло новое поле для астрофизических исследований.

⁶ Kardashev N.S. 1962, Nonstationariness of Spectra of Young Sources of Nonthermal Radio Emission, *Astron. Zh.*, 39, 393.

⁷ Kardashev N.S. 1964, Transmission of Information by Extraterrestrial Civilizations, *Astron. Zh.*, 41, 282.

⁸ Национальная радиоастрономическая обсерватория или NRAO.

⁹ В 1965 году в Грин-Бэнк наблюдались радиолинии возбужденного водорода в диапазоне 6 см (в M17, в туманности Ориона и в других областях HII в разных галактиках); была зарегистрирована линия водорода при переходах между уровнями 110 и 109 (Höglund B., Mezger P.G. 1965, *Science*, 150, 339). – Прим. перев.



Спектр радиоисточника Parkes 1934–63, на котором показаны результаты наблюдаемых измерений (закрашенные круги) и теоретическая кривая к синхротронному излучению (сплошная черная линия). Гипотетическая «зарубка», предсказанная Кардашёвым как идентификатор того, что передача исходит от разумной цивилизации, показана красным пунктиром

Однако меня больше интересовала статья Николая о том, как меняется спектр синхротронного излучения из-за радиационного охлаждения и как происходит потеря энергии релятивистскими электронами. Моя диссертация на соискание степени «доктора философии» в Калифорнийском технологическом институте была посвящена спектрам внегалактических радиоисточников, и я использовал статью Николая в качестве руководства при интерпретации своих наблюдений. В то же время я встретил Славу Слыша¹⁰, который признал, что мои наблюдения пиков в спектре радиоисточников СТА 21 и СТА 102 можно интерпретировать как результат синхротронного самопоглощения. Я с удовольствием вспоминаю, кроме бурных дискуссий о релятивистских электронах и синхротронного излучения, волейбол с Николаем, Славой

¹⁰ Вячеслав Иванович Слыш (1935–2008).

и другими молодыми учеными из группы Иосифа Шкловского на траве около Московского института им. Штернберга¹¹...

Третьей общей областью наших интересов были внеземные разумные цивилизации. Еще во время моего пребывания в Австралии, меня заинтересовала статья Николая Кардашёва, ныне ставшая знаменитой, в которой он рассуждал об уровнях технического развития цивилизаций: таких, как наша; других, которые могут использовать энергию своего солнца; и третьих, которые могут использовать энергию всей галактики (Кардашёв, 1963). Он назвал их, соответственно, цивили-

зациями I, II и III типов. В конце статьи Николай предположил, что внеземные цивилизации будут генерировать спектр излучения с пиком около частоты 1.4 ГГц (с длиной волны 21 см), чтобы улучшить соотношение «сигнал-шум» и минимизировать «шумы» от Галактического синхротронного излучения в низкоэнергетической области и от квантовых флуктуаций в высокоэнергетической области.

Он также доказывал, что источники радиоизлучения, такие как СТА 21, СТА 102 (которые я изучал в Калифорнийском технологическом институте), могут на самом деле быть результатом передач [сигналов] внеземного разума, а не естественными объектами. Более того, он предположил, что внеземные «вещатели» могут специально сделать

¹¹ Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова.



Антенны системы дальней космической связи СССР (ЦДКС), которые использовал Геннадий Шоломицкий для наблюдения вариаций мощности источника СТА 102

«зарубку» в спектре на частоте водородной линии 1.42 ГГц, чтобы дать понять, что их сигналы обладают искусственным, а не естественным происхождением.

До моего отъезда из Австралии я занимался наблюдениями радиоспектра источника Parkes 1934–63¹² с целью сделать выбор между различными теоретическими астрофизическими моделями. Спектр этого источника очень походит на тот, который, как предсказывал Кардашёв, может быть характерным для послания внеземной цивилизации. Вдохновленный размышлениями Николая (а также высмеиваемый моими австралийски-

ми коллегами), я использовал 21-сантиметровый спектрометр в обсерватории Паркса, чтобы найти эту «зарубку» в спектре. Хотя мне это не удалось, мое исследование оформилось в первую статью, посвященную поиску внеземных цивилизаций, которую опубликовали в рецензируемом научном журнале.

Как оказалось, примерно в это же время другой ученик Шкловского, Геннадий Шоломицкий, в Крыму использовал секретную военную антенну, чтобы обнаружить временные вариации в спектрах радиоисточников с пиками. К сожалению, история не сохранила подробностей: вдохновляли ли Шоломицкого идеи Шкловского и Кардашёва об инопланетных посланиях, или он просто измерял плотности потока от радиоисточников.

¹² Радиотелескоп Паркса в радиообсерватории Паркса (Parkes), которая находится в Австралии.

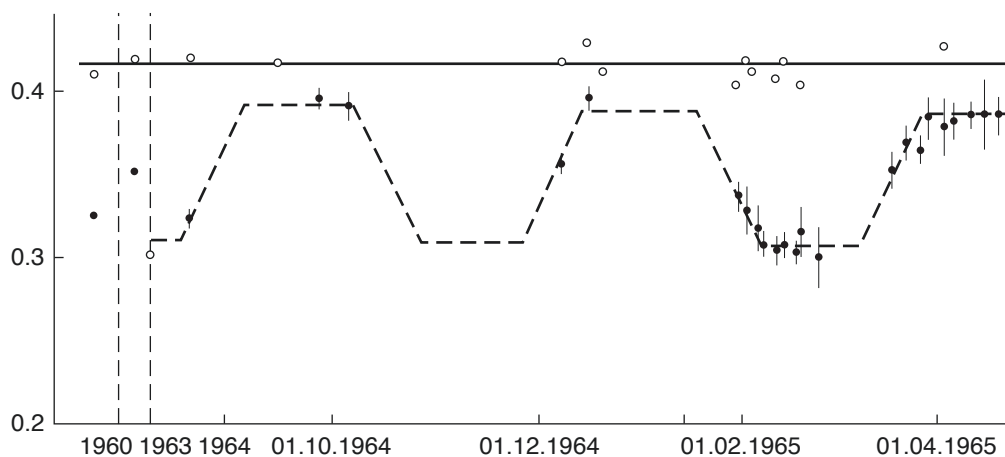


График относительной наблюдаемой мощности источников СТА 102 (закрашенные кружки) и СТА 21 (пустые кружки), опубликованные в газете «Правда» 14 апреля 1965 г.



Геннадий Шоломицкий, Иосиф Шкловский, Николай Кардашёв (слева направо) в конференц-зале ГАИШ МГУ им. М.В. Ломоносова смеются над своей шуткой о том, что СТА 102 является сигналом от инопланетной внеземной цивилизации

В любом случае, его драматически эффектное заявление о хорошо наблюдаемой 30-процентной переменности источника СТА 102, которое было опубликовано в «Правде» 14 апреля 1965 года, стало мировой новостью, когда Кардашёв, по слухам, в шутку сказал репортеру ТАСС, что СТА 102 может быть «передачей» инопланетян.¹³

¹³ Об этом см. главу «Поиски внеземных цивилизаций» в сборнике «Эшелон» И.С. Шкловского.

Когда новость достигла Австралии, за несколько дней до моего отъезда в Москву мои тамошние коллеги, которые не хотели связывать свои имена с идеей инопланетных радиопосланий, отправили ко мне газетных репортеров как к австралийскому «эксперту» по внеземному разуму. Мне так и не удалось убедить газетчиков, что целью моей запланированной поездки в Россию были астрофизические проблемы и что она не была частью секретной советско-американской программы по контакту с внеземными цивилизациями.

А источник СТА 102 был затем увековечен в творчестве американской рок-группы *The Byrds*¹⁴.

В следующие полстолетия я имел удовольствие неоднократно обсуждать с Николаем возможность существования внеземной жизни во Вселенной. Возможно, самым запоминающимся случаем стала встреча на конференции по проблеме связи со внеземными цивилизациями, которая была совместно организована США и Академией наук СССР в Армении в 1971 г.¹⁵

Николай был в числе организаторов с советской стороны. Эта конференция была уникальна (даже если не упоминать традиционное армянское гостеприимство, особенно еду и вино) тем, что собрала специалистов по астрономии, физике, радиофизике, информационным технологиям, химии, биологии, лингвистике, археологии, антропологии, социологии и истории. Участники обсуждали не только возможное происхождение внеземной жизни, но и моральные, социальные и законодательные следствия, которые возникнут, если она будет успешно обнаружена. Во время формальных сессий, когда армянские и русские выступающие говорили на родных языках, замечательный синхронный перевод делал Борис (Боб) Белицкий. Белицкий родился в США, а затем оказался в СССР, куда его привезли



Первая полоса газеты *Sydney Morning Herald* с репортажем об открытии Шоломицкого и грядущей поездке автора статьи в Москву

родители, симпатизировавшие коммунистам. Он был настоящим билингвом и работал как переводчик во время суда 1960 г. над американским пилотом Фрэнсисом Пауэрсом¹⁶, чей самолет-разведчик «U-2» был сбит над территорией Советского Союза.

Однажды вечером, после ужина, на котором щедро разливали армянский коньяк, небольшая группа, куда входили Шкловский, Дрейк и Саган¹⁷, решила, что до того, как общаться с инопланетянами, их надо найти. С этого момента то, что ранее было известно как аббревиатура CETI, или «Связь с внеземным разумом» (Communication with Extraterrestrial Intelligence), превратилось в «Поиск внеземного разума», или SETI (Search for Extraterrestrial Intelligence).

С 1980-х гг. Николай заинтересовался возможностями, которые дает науке

¹⁴ Песня *СТА-102* <https://www.youtube.com/watch?v=6dZ8DRmL16c>

¹⁵ Первая советско-американская конференция по проблеме связи со внеземными цивилизациями. Бюраканская астрофизическая обсерватория, Бюракан, Армения. 5–11 сентября 1971 г.

¹⁶ Фрэнсис Гэри Пауэрс (Francis Gary Powers, 1929–1977).

¹⁷ Фрэнк Дрейк (Frank Drake, 1930–2022), Карл Саган (Carl Sagan, 1934–1996).



Участники Бюраканского симпозиума «Связь с внеземными цивилизациями» 1971 г. Автор статьи в последнем ряду в темных очках

радиоинтерферометрия со сверхдлинными базами (РСДБ), когда один из радиотелескопов находится в космосе. С 1969 г. американские и советские радиоастрономы успешно проводили наблюдения квазаров и межзвездных мазеров с очень высоким разрешением, используя радиотелескопы в США и Крыму. Антенны при этом разделяло до 8 тыс. км. Хотя пространственное разрешение таких наблюдений было лучше одной тысячной угловой секунды (примерно такого размера был бы автомобиль на Луне для наблюдателя с Земли), многие источники по-прежнему оставались точечными. Были нужны более длинные базы. Николай предложил миссию по размещению десятиметрового радиотелескопа в космосе на орбите высотой до сотни тысяч км от поверхности Земли. Друзья и коллеги Николая и в СССР, и в других странах считали, что это расстояние слишком велико. Прежде всего, из физики синхротронного излучения, хорошо известной Кардашёву, следовало, что все известные радиоисточники будут

слишком большими для наблюдений с такой базой. Далее, если бы даже существовали естественные источники таких малых размеров, из-за рассеяния в межзвездной среде они бы казались больше, подобно тому, как звезды на Земле кажутся больше из-за рассеяния в земной атмосфере. Но Николай не слушал их. Напротив, он предложил еще большую орбиту, с расстоянием до поверхности Земли в 350 тыс. км, почти рав-

ным расстоянию до Луны. Некоторые коллеги поговаривали, что Николай хотел доказать, что источники радиоизлучения, такие как СТА 102 и Parkes 1934–63 настолько малы, что не могут быть природными объектами, а представляют собой инопланетные сигналы, хотя сам Николай никогда не признавал это. Следующие 30 лет он вел подготовку амбициозного проекта «РадиоАстрон», в том числе в тяжелое время после развала Советского Союза в 1991 г.

«РадиоАстрон» был в конце концов запущен 18 июля 2011 г. с космодрома Байконур в Казахстане¹⁸. Почти все системы работали, как было запланировано, и «РадиоАстрон» оказался удивительно успешным. Ко всеобщему приятному удивлению, «РадиоАстрон» показал, что некоторые квазары действительно гораздо меньше, чем могли бы объяснить принятые теории синхротронного излучения. Интерпретация этих неожиданных (для всех, кроме Николая) результатов остается предметом для размышлений, но исключительно успешные восемь лет миссии «РадиоАстрона» остаются вечным памятником необычному научному пути Николая Семёновича Кардашёва.

¹⁸ Космический аппарат «Спектр-Р».

ВОСПОМИНАНИЯ О Н.С. КАРДАШЁВЕ КАМЧАТСКАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ

СОГЛАСНОВ Владимир Анатольевич,

Астрокосмический центр Физического института им. П. Н. Лебедева РАН

DOI: 10.7868/S00044394823020056

ВМЕСТО ВСТУПЛЕНИЯ

Существует «шкала Кардашёва» для классификации уровня развития цивилизаций, она годится для любых цивилизаций, в том числе и внеземных (ВЦ), но мало кто знает о практической деятельности Николая Семёновича в этой области, прежде всего по поиску ВЦ. Если о ней изредка и упоминается, то как-то вскользь, безо всяких подробностей, а между тем им осуществлен ряд проектов, связанных с ВЦ, по своему масштабу и полученным результатам намного перекрывающих то, что сделано на сегодняшний момент.

При непосредственном участии Николая Семёновича было организовано и блестяще завершено несколько экспедиций – на Кавказ, Памир и Камчатку – предпринятых с 1972 по 1974 гг. с целью поиска моноимпульсных сигналов из космоса. В этой статье я хотел бы рассказать только об одной из них, о Камчатской экспедиции, о жизни и работе двенадцати человек в Снежном – маленьком поселке геологов близ поселка Эссо.

Но прежде нужно сказать несколько слов о концепции Кардашёва в отношении поиска ВЦ, чтобы был понятен смысл всех описанных ниже событий. Основное отличие его концепции от подхода Дрейка – отсутствие априорных предположений о том, что ВЦ должна быть похожа на человеческую цивилизацию. Следовало ответить на

ряд вопросов. Как искать ВЦ? Куда направить телескоп? На какой частоте вести поиск? Как понять, что это искусственный сигнал? Принципы стратегии поиска очень четко были сформулированы Николаем Семёновичем. Они просты. Наиболее подходящими в качестве «позывных» для цивилизации, желающей дать знать о себе, были бы редкие очень короткие импульсы большой мощности. Они перекрывают очень широкий диапазон частот, тем самым проблема поиска частоты снимается. Для принимающей цивилизации также снимается проблема, с какого направления пришел сигнал, если она достаточно технически продвинута и доросла до стадии космических полетов (а мы доросли). Надо только кроме своей планеты разместить приемники еще и в космосе, на расстоянии порядка астрономических единиц.

Итак, Камчатская экспедиция, состоявшаяся после экспедиций на Памир и Кавказ, о которых будет подробно рассказано в других статьях автора.

ЭССО

Сначала надо было определиться с местом нового пункта наблюдений. Очевидным районом был Дальний Восток. Я опрометчиво согласился быть начальником дальневосточного отряда, более того, даже проявил в этом вопросе какую-то инициативу. Николай Семёнович предложил обследовать Сахалин,

о. Шикотан (там располагалась лаборатория Сахалинского института), Благовещенск (там работала группа В.С. Троичного, проводившая аналогичные исследования), и Камчатку.

На поиски подходящего места мы отправились вдвоем с Л.М. Гиндилисом, сотрудником ГАИШ МГУ им. М.В. Ломоносова. Главным критерием был уровень помех, поэтому мы взяли с собой компактный приемник, уголковую измерительную антенну и маленький самописец. На Сахалине мы проехали вдоль побережья Анивского залива – это «хвост сахалинской селедки». Везде уровень помех оказывался удручающе высоким, но этого, впрочем, следовало ожидать. На Шикотане вообще не пришлось включать аппаратуру, потому что на открытые клеммы даже выключенного(!) самописца наводилась такая импульсная помеха, что перо заметно дергалось. Это работал локатор противовоздушной обороны, а работал он на Шикотане всегда.

На Камчатке мы сначала прилетели вертолетом на станцию вулканологов в районе Карымской сопки – действующего вулкана, очень активного в то время. Помехи отсутствовали, но разместить там нашу экспедицию не получалось, места было совсем мало. К тому же часто свирепствовала сильнейшая пурга: за каких-нибудь десять минут избенку заносило снегом по крышу, что и случилось как раз во время нашего визита. Всю нашу аппаратуру на улице разметало бы, как карточный домик, и унесло далеко-далеко.

Последним нашим пунктом на Камчатке был поселок Эссо в самом центре «камчатской камбалы», административный центр национального района, где проживает коренная народность Камчатки – эвены. В центре поселка располагался большой бассейн, наполненный водой из горячих источников, круглый год можно было купаться, несмотря на температуру -30° . Прожива-

ло в Эссо меньше тысячи человек. Другой поселок, Анавгай, с населением в 200 человек, располагался километрах в тридцати от Эссо. Там был оленеводческий совхоз. И вот в Эссо нам просто фантастически повезло. Мы случайно встретили гусеничный вездеход геологической партии, которая работала километрах в пятидесяти от поселков. Партия уже закончила работу, но часть людей еще оставалась в лагере. Оказывается, завтрашний день был Днем геолога, и геологи спустились в поселок закупить «горючее» для праздника. Мы поехали с ними, договорившись с директором совхоза, что он на другой день пришлет за нами трактор. Нашему взору предстала замечательная картина: вполне обустроенная территория, несколько небольших, но добротных рубленых домиков, большая хозяйственная постройка. Все как по заказу. И, конечно, никаких помех для наших приборов. Для порядка мы включили аппаратуру, за полсуток ничего не поймали, все было чисто. Ни в какой Благовещенск мы заезжать не стали, и с чувством выполненного долга улетели в Москву. Так было принято решение разместить экспедицию в бывшем лагере геологической партии близ Эссо.

ПОДГОТОВКА И ПРИБЫТИЕ

Камчатская экспедиция требовала куда более серьезной подготовки, чем предыдущие, а времени оставалось совсем немного, если мы хотели начать работу в том же году, всего какие-нибудь 3–4 месяца. Невероятно, но каким-то образом нам все удалось подготовить. Самым трудным оказалось достать автомобиль, но и он в конце концов появился, новенький ГАЗ-66. Его, вместе с шофером и сопровождающим – сотрудником ИКИ, загрузив самыми тяжелыми и габаритными предметами (два дизельных генератора, батареи

аккумуляторов и др.), мы отправили по железной дороге до Владивостока, министр путей сообщения Бещев выделил нам полувагон. Далее морем они должны были переправиться в Петропавловск-Камчатский и своим ходом доехать до Эссо и Анавгая, где встретиться с участниками экспедиции, и оттуда уже всем вместе отправиться на место. В общем, так примерно все и вышло, как было задумано. Получив сообщение, что автомобиль с экипажем благополучно пересек Охотское море, я отправил на Камчатку первые семь человек, а сам остался в Москве. Хозяйственные службы ИКИ работали тогда просто идеально, с их помощью все оборудование и снаряжение экспедиции было тщательно упаковано в 15 прочных специально изготовленных ящиков и доставлено в аэропорт.

Я и два человека группы вылетели на Камчатку. В Петропавловске, очень уже хорошо мне знакомом, мы отправились в аэропорт Халактырку, который обслуживал местные авиалинии. Там было столпотворение, два дня перевал был закрыт по погоде, самолеты АН-2 («кукурузники») по этой причине не летали. Мне удалось ребят отправить «по обкомовской броне» первым же бортом, улетающим в Эссо.

Вернувшись в город, я стал ждать, когда придет мой груз. Это заняло две недели, так как его отправляли из Москвы частями. Наконец, позвонив в очередной раз в аэропорт, узнал, что все мои ящики находятся там. Я до сих пор не могу понять, каким образом я умудрился в одиночку 15 неподъемных ящиков общим весом в тонну перебросить на расстояние шестьсот верст из Петропавловска в затерянный в тайге крохотный поселок. Без покроительства высших сил всему, что затевалось Кардашёвым, здесь явно не обошлось, я утверждаю это вполне серьезно. Так или иначе, в конце концов экспедиция почти в полном составе,

кроме Николая Семёновича, и все снаряжение оказались в нужном месте.

Вот полный состав нашего камчатского отряда: П.П. Володин (дизелист), Л.М. Гиндилис, В. Еремеев, Л. Жданов, Н.С. Кардашёв (м.н.с.), В. Климашин, В. Кристсон (радиомонтажник), Ю. Ливанский (шофер), Н.Х. Мартиросян, О. Пуцыло (радиомонтажник), В.А. Согласнов (начальник), Н.Я. Шапировская – всего 12 человек.

Познакомлю вас с ними. Двоих радиомонтажников, Олега Пуцыло и Витю Кристсона, к Кардашёву по его просьбе перевели на время экспедиции из опытного производства. «Лучших ребят вам отдаю, Николай Семёнович», – сказал завпроизводством Брянкин. Действительно, их работой можно было любоваться, как произведением искусства, – специалисты высочайшего класса. Олег так вообще мастер на все руки. Узнав от этих ребят, что готовится экспедиция на Камчатку, другой сотрудник опытного производства, слесарь Петр Павлович Володин, пришел к нам с просьбой, а нельзя ли и его взять в экспедицию? Я спросил, знаком ли он с дизелями, сможет ли он обслуживать наши генераторы. Он ответил утвердительно. Это оказалось некоторым преувеличением, потому что до того он их в глаза не видел. Но Петр Павлович был страстным охотником и мечтал поохотиться в дикой тайге, а освоить работу на дизелях оказалось для него не таким уж сложным делом. Володя Климашин из комплексного отдела – великолепный инженер, в свое время он проектировал посадочный модуль для нашей лунной программы. Отличался невероятной щепетильностью во всем. Если надо было разделить ломоть хлеба на двоих, то разрезал его обязательно вдоль, а не поперек, чтобы всем было не только поровну, но и одинаково. По просьбе Льва Мухина, возглавлявшего в ИКИ биологический отдел, в экспедицию был принят Лёша Жда-

нов, совсем еще мальчик семнадцати лет. Лёша старательно выполнял любую работу, которую ему поручали, и у него все очень неплохо получалось. Наташа Шапировская недавно перешла к нам в отдел, в нашу лабораторию, и конечно же, загорелась желанием попасть в столь экзотическое место, как Камчатка. Нелли Хачиковна Мартиросян, милая и доброжелательная ко всем нам. Фактическая жена Льва Мироновича Гиндилиса, очень трогательно о нем заботившаяся, да и о всех нас тоже. Гиндилис был сотрудником отдела Шкловского в ГАИШ почти с момента его основания, вел с московской стороны все дела по строительству РАТАН-600, активнейшим образом занимался вопросами ВЦ, возглавлял ряд официальных комиссий. Володя Еремеев, парень внушительных габаритов, очень квалифицированный радиоинженер. Работал он в Отдельном конструкторском бюро МЭИ, в Медвежьих Озерах, где академик Богомолов построил свой независимый центр дальней космической связи. Его прикомандировали к нам на время экспедиции, вероятно, по просьбе Кардашёва. Наконец, наш водитель Юра Ливанский.

Встретили меня с большим восторгом. Поначалу казалось, что все замечательно. За время, пока меня не было, ребята вполне обустроились, наладили быт. Люди разместились в четырех домиках. Их подремонтировали, привели в порядок. В каждом имелись печки, в них кое-где были трещины, ПП – Петр Павлович – замазал их каким-то веществом, похожим на глину, которое нашли среди образцов и других вещей, оставленных геологами. В один домик поселили прибывшую передо мной Наташу, отгородив в нем для нее маленькую «келью». В нем же разместился и я, а потом и Кардашёв. Отдельную избушку заняли Лев Миронович и Нелли Хачиковна. Остальные разместились в двух домиках, по 3–4 человека. Оста-

лось еще два домика, в одном установили дизельную, туда уже поставили генераторы, другой предназначался для аппаратной. В хозяйственной постройке было две больших комнаты, одна теплая, ее отапливали, она служила столовой. Другую оставили холодной, она использовалась как склад.

Предстояла большая работа: распаковать прибывший груз, в котором, помимо прочего, был солидный запас продуктов, полученных со складов Академснаба, что всех очень обрадовало. Он поступил в распоряжение Нелли Хачиковны. Также весьма кстати оказались меховые шубы, еще не зима, но ночью уже четкий минус. Работа между людьми распределилась как-то сама собой, каждый знал, что ему делать, без особых указаний начальства. Следовало развести электросети от дизельной к домикам, хозяйственному блоку и аппаратной и внутри помещений – особое внимание к аппаратной, сделать в ней контур заземления. Подготовить площадку, где можно будет поставить антенны 30 и 60 мегагерц, которые еще предстояло соорудить, и наши «Морковку» с приемником «Редькой»¹.

ДОГОВОРИТЬСЯ С КАМЧАТКОЙ

Вот такая была обстановка у нас перед приездом Кардашёва, на первый взгляд все выглядело лучше некуда, на самом же деле, как вскоре выяснилось, имелись серьезные проблемы во взаимоотношениях, к которым я был абсолютно не готов. Это стало ясно недели через две. Поскольку сразу после приезда мне часто приходилось поки-

¹ «Ну вот такие морковки, какие стоят у Бабакина на его космических аппаратах», – как-то сказал Кардашёв. Наши приемники Кардашёв назвал «Хрен» и «Редька», а спиральную коническую антенну, к которой они подключались, мы за ее внешний вид с самого начала называли «Морковкой».

дать лагерь и спускаться вниз, в поселки Эссо и Анавгай, чтобы обеспечить экспедицию всем необходимым, в первую очередь горючим, я оставил «за старшего» Льва Мироновича Гиндилиса (а кого же еще?).

Как поведет себя Николай Семёнович, с его нестандартным подходом? Этот вопрос, конечно, серьезно меня волновал. Мне пришлось поближе познакомиться с жизнью на Камчатке: за внешней привлекательностью этого края кроется очень суровая реальность, Камчатка диктует здесь свои условия, жизнь протекает по другим законам. Какими бы не были раньше отношения между людьми, пусть даже много лет знавших друг друга, Камчатка их обнуляет, все выстраивает по-новому. Человек предстает здесь совсем иным, тут проявляются его глубинные качества, скрытые в обычной жизни. Его судьба зависит от того, насколько ему удастся договориться с Камчаткой. Понимаю, что отдает мистикой, но других слов я подобрать не смог.

Одно время я считал, что Кардашёв – это машина для познания природы, этим объясняются его поступки, совершенно логичные с точки зрения процесса познания, но которые выглядят абсурдными в нормальной жизни, особенно если это как-то затрагивает отношения между людьми. Вскоре я понял, что дело здесь гораздо глубже: он не машина, а существенная часть этой самой природы, чего лишены, как правило, большинство людей. Но люди, видимо, бессознательно чувствуют, что Коля обладает чем-то сверхценным, удивляясь «нестандартному подходу», полностью принимают.

По этой причине Николаю Семёновичу не пришлось «договариваться с Камчаткой», все необходимое было в нем как бы заложено, он естественным путем придерживался верной линии. В отношении меня он вел просто идеально, подчеркивая всем, что

он такой же рядовой член экспедиции, во всем подчиняется начальнику. Никогда на людях не высказывал неодобрения моими действиями. Конечно, наедине мы откровенно обсуждали многие вопросы, спорили, иногда он не соглашался со мной, но понимал, что в нашей непростой ситуации мне нужна моральная поддержка, и я получал ее сполна. За это я на всю жизнь остался благодарен ему. Хотя Кардашёв и стремился никак не выделяться, окружающие люди интуитивно чувствовали уникальность его личности, и его мнение, даже напрямую не высказанное, влияло на всех, подчас решающим образом. В нашем случае большую роль сыграло то, какое важное значение он придавал нашей работе, иначе он не приехал бы сюда. Это мгновенно передалось всем, все поняли ради чего мы здесь находимся, и стали дружно действовать в интересах общего дела, что и обеспечило его конечный успех.

Скоро нам доставили на волокуше, которую тащил трактор, горючее для дизелей. Его хватило с избытком на весь срок. Теперь можно было заняться генераторами. Вскоре состоялся торжественный пуск, в кают-компании – столовой загорелась «лампочка Ильича».

Поскольку появилась электроэнергия, мы приступили к заключительному этапу подготовки: наполнили аппаратную приборами, изготовили антенны на метровый диапазон (их рассчитала Нина Савельева, которая специализировалась по космологии у А.Л. Зельманова) и установили их на подготовленной площадке рядом с аппаратной. На большой поляне поставили «Морковку» с «Редькой». В центре поляны росла огромная лиственница, я подумал, не будет ли она мешать нашим наблюдениям? Может, спилить ее? Спросил у Николая Семёновича. Он ответил, что, конечно, не будет, да и жалко такую красавицу губить.

ЖИЗНЬ И РАБОТА В СНЕЖНОМ

Когда все было налажено, началась основная работа – круглосуточные наблюдения. Составили расписание дежурств, разбились на смены по два человека, сначала смены были по 12 часов, потом решили, что удобней дежурить сутками. Память – коварная штука. Совершенно не помню состав смен. Не помню даже, кто был со мной в смене. Не знаю, была ли в смене Нелли Хачиковна, зато с уверенностью могу сказать, кого там точно не было: шофера Юры Ливанского и Петра Павловича, дизелиста. Петр Павлович обеспечивал бесперебойное снабжение нас электроэнергией. Без электричества не только сразу бы остановились наблюдения, это очевидно, но и возникла бы масса проблем с нашим выживанием, жить как раньше, в теплую осень, мы уже не смогли бы. Время, которое мы провели, когда возились в аппаратной, тщательно все настраивая, оказалось потраченным не зря. Во время наблюдений я воочию, в буквальном смысле, убедился в том, что все у нас работает лучше некуда. Однажды в мое дежурство был такой случай. Вдруг все приемники словно сошли с ума, постоянно показывали непонятные всплески,

потом все успокаивалось и начиналось снова. Я пытался найти причину, много чего попробовал – безрезультатно. Вдруг – именно вдруг, – все прекратилось, пошла ровная запись. В этот момент я зачем-то взглянул в окно, просто так, и все понял: тень от горы пересекла «Морковку», наша аппаратура работала исправно. Мы только что наблюдали бурю на Солнце.

Пошла размеренная спокойная жизнь, по привычному распорядку. Это совсем не значило, что работы стало меньше и стало возможным немного расслабиться. Наоборот, забот у нас прибавилось. Во-первых, вести круглосуточные наблюдения непрерывно в течение длительного времени – непростая задача. Потом, все, что касается жизнеобеспечения, было исключительно нашей заботой. Условия становились все более суровыми. Начал идти снег. Поначалу его было немного, он только слегка припорошивал землю, но вскоре начались настоящие снегопады, снег повалил хлопьями, за ночь его наваливало столько, что, проснувшись утром, приходилось сразу же браться за лопаты. Вот тут мы и поняли, почему свой поселок геологи называли «Снежный».

По утрам все собирались на завтрак за длинным столом в столовой. Перед каждым стояла миска, больше похожая на небольшой тазик. Миски до краев наполнялись неизменной горячей манной кашей, которая съедалась с завидным аппетитом.



В «Снежном» плену.

Сверху вниз, слева направо: Пуцыло, Климашин, Согласнов, Кристсон, Кардашёв, Жданов, Еремеев. Фотография из архива автора

Не было, правда, хлеба, вместо него шли галеты из академических экспедиционных запасов. Хлеб у нас потом тоже появился, но это отдельная история. В центре стола стояла трехлитровая банка с красной икрой, но этот продукт особой популярностью не пользовался. Николай Семенович привез из Москвы большую коробку шоколадных конфет, один вид которых вызвал восторг. После завтрака работа, обед, опять работа, ужин, и люди расходились по домам, проводя досуг как кому нравится. В каждом домике был транзисторный приемник «Океан», предназначался он отнюдь не для культурного досуга, а для привязки временной шкалы наших записей по сигналам точного времени, передаваемыми ежечасно радиостанцией «Маяк». Ребята сделали наружную антенну и подсоединили ее к «Океану», и на средних волнах возникли сотни японских радиостанций с яркой непривычной музыкой.

Между тем как-то пустовато стало на нашем складе, в холодной комнате хозблока. Спустившись в очередной раз по необходимым делам вниз в поселок (не помню уже сейчас, по каким именно, кажется, получить в банке наличные деньги, которые Регина Леонтьевна, легендарный главбух ИКИ, переводила нам из института), решил заодно пополнить наши запасы. Закупил много чего: пару оленьих туш, картошку, капусту (отличная капуста росла на Камчатке) и много всего вкусного. Помня страдания Петра Павловича, который никак не мог привыкнуть к отсутствию хлеба, еще зашел в пекарню и взял несколько мешков муки, и главное – дрожжей. Сложили все в большие сани и трактором доставили в наш лагерь. Началась райская жизнь, при полном изобилии.

В столовой была большущая печка, в которой геологи выпекали хлеб, там же были сложены и формы для выпечки. Раньше никто из нас печь хлеб даже

и не пробовал, но мы с легкостью, на удивление быстро, освоили это дело. Почти сразу оно превратилось в своеобразный ритуал. Все начиналось по команде начальника: «Пора печь хлеб!» Петр Павлович замешивал тесто на дрожжах, наполнял им наполовину эмалированное ведро, накрывал шубой и ждал, пока оно подойдет, изредка проверяя. Пока тесто подходило, Лёша срубал березу (камчатские карликовые березы с «каменной» древесиной), загружал дрова в печь и жарко топил ее. Когда дрова полностью, до золы, прогорали, чисто выметал все из печи в большой таз, выносил на улицу и устраивал салют, подбрасывая еще горячую дымящуюся золу как можно выше. Дальше в дело вступал Олег. Он тщательно смазывал изнутри формы маслом, заполнял их наполовину уже подошедшим тестом и расставлял внутри печи по всей площади пода в определенном, одному ему ведомом порядке с помощью специального ухвата. Из оставшегося теста лепили всякие плюшки, булочки, пышки и кто что придумает, иногда пирожки с капустной начинкой, и тоже отправляли в печь. Готовность определял экспертный совет во главе с тем же Олегом. Хлеб получался изумительно вкусным. Он не черствел, сохраняя вкус и аромат до следующей выпечки, примерно две недели. Гости – охотники, которые нас изредка посещали, были уверены, что мы привезли из Москвы какую-то особенную муку.

Один раз, когда лепили пирожки, кто-то предложил в один из них что-нибудь запечь. После непродолжительных дебатов обратились ко мне с просьбой выдать под это дело червонец (десять рублей). Пирожков слепили точно по числу людей, в один пирожок я запрятал купюру, свернув ее в маленький комочек. Нас тогда оставалось немного, 3–4 человека, поэтому утром, когда на столе было выставлено большое блюдо с аппетитными пи-

рожками, большинство людей, собравшихся на завтрак, не подозревало, что один из них с сюрпризом. Сначала все, как обычно, стали разбирать пирожки, но когда я потянулся к миске, те, кто были в курсе затеи, стали внимательно наблюдать, что я выберу, после старались найти похожий. Остальным стало ясно, что тут скрыта какая-то тайна. Все пирожки, в том числе и мой, оказались пустыми. На блюде их становилось все меньше, и вот остался только один. Единственный, кто не взял пирожок, был Петр Павлович. Все взгляды обратились на него: «Бери пирожок!» Но он чего-то медлил. Наконец, он взял пирожок с блюда и положил рядом со своей миской. Тут уж у всех всякое терпение лопнуло: «Ешь давай!» Разломив его, он с удивлением произнес: «А здесь что-то есть!» Извлек это что-то оттуда, развернул, разгладил и протянул десятирублевку мне со словами, «я попрошу купить на эти деньги на наш домик водочки». Всякий раз, когда что-то разыгрывалось (а такое у нас случалось нередко) и Петр Павлович участвовал в розыгрыше, он неизменно выигрывал, такой вот везучий.

Время от времени устраивались «походы в баню» небольшими группами, обычно обитателями одного домика. В нескольких километрах от лагеря геологами был сооружен небольшой бассейн, который наполнялся водой из протекавшего рядом ручья, который, несмотря на мороз, никогда не замерзал, и горячего ключа с кипящей водой. Нужную температуру обеспечивал нехитрый, но эффективно работавший механизм из двух деревянных заслонок. Бассейн размещался под крышей внутри рубленого домика. Мы ходили туда втроем, купались по очереди: сначала мы с Николаем Семёновичем, потом Наташа, или наоборот. Наплававшись вдоволь, Николай Семёнович кричал: «Наташа, отойди налево (или направо), я хочу побегать по снежку».

Я на такую процедуру не отваживался. Действие бани оказывала потрясающее, как будто заново родился.

Установилась стабильная хорошая погода, преимущественно ясная, умеренно холодная с температурой в среднем -35° , но воздух очень сухой, поэтому мороз переносился легко, его не замечали. Временами было и холоднее, рекорд -48° . В аппаратной стационарной печки не было, топили буржуйку, стараясь поддерживать в этом помещении примерно постоянную температуру. Один раз слегка перестарались. Думая компенсировать падение температуры воздуха снаружи, нагревая его внутри, перетопили, до $+50^{\circ}$, образовался перепад в сотню градусов. Открытая настежь дверь это быстро исправила. Несмотря на такие суровые условия, никто ни разу даже не чихнул за время все время пребывания в Снежном.

А еще прилетела комета, кажется, Когоутека, эффектно украшая и без того великолепное ночное небо. Была у нас и собачка, маленькая, рыжая, как лисичка, ей дали кличку Альфа, приехала с кем-то из поселка, да так и осталась у нас.

Петр Павлович исправно снабжал нас свежей зайчатиной. Он ставил петли на заячьи тропы (следов вокруг было много) и сначала расстреливал попавших в коварную ловушку бедных зайчишек из ружья, благо патронов у нас было в избытке. Заячье мясо было вкусным, но нашпиговано дробью, и приходилось быть очень внимательным во время еды, чтобы не поломать зубы и вовремя выплюнуть свинцовый гарнизир. Потом он придумал другой способ, и можно было лакомиться зайчатиной, ничего не опасаясь. Обычно он приносил пару охотничьих трофеев раз или два в неделю, но на свой день рождения решил устроить нам пир посерьезней и возвратился, неся по два здоровых зайца в каждой руке.

Разделка добычи поручалась Лёше. Он научился весьма ловко это дело делать. Оставались только шкурки и заячьи хвостики.

Как я говорил, с юмором у всех был полный порядок. Как-то раз была такая история. Володя Еремеев был из нас самым крупным мужиком. Ходил он обычно в просторных штанах голубого цвета. Кто-то, ей богу не знаю кто и не пытался выяснять, незаметно пришил сзади к его штанам заячий хвостик. Володин вид сзади представлял настолько уморительное зрелище, особенно при его походке или когда он наклонялся, что никто не мог удержаться от дикого хохота, видя, как на голубых штанах подрагивает беленький хвостик. Я и сейчас, вспоминая эту картину, не могу не смеяться. Он проходил так полдня в полном неведении. Изрядно повеселив народ, Володя, наконец, понял, в чем дело, и поначалу даже изобразил серьезную обиду.

В канун ноябрьских праздников к праздничному столу общими усилиями наготовили столько всякой разнообразной вкусной еды, что потом хватило на целую неделю. Каждый внес свою лепту, стремился приготовить что-нибудь особенное. Очень весело отпраздновали.

На Камчатке каждому из нас приходилось ежедневно выполнять огромный объем работы, намного больше, чем обычно в нормальной, так сказать, жизни, или даже в прежних наших экспедициях, в Крыму, на Кавказе, причем работа была самого разнообразного характера. Прежде всего, это, конечно, – профессиональная сфера. Развернуть весь наш комплекс, установить аппаратуру, настроить, наладить, добиться чтобы все работало – нужны серьезные знания, квалификация, опыт, наконец, просто умения думать. Но это было далеко не все. К тому времени мы уже были полностью отрезаны от внешнего мира, остались одни, безо вся-

кой связи с ним, в дремучей тайге, так что все, что касалось даже самого элементарного жизнеобеспечения, просто физического выживания, было теперь исключительно нашей заботой. Правда, тем самым мы были освобождены от семейных забот и обязанностей, но это был скорее минус, чем плюс, поскольку психологически этот фактор в сознании любого человека все же доминирует надо всем остальным, и невозможность хотя бы как-то связаться с родными оказывает на людей крайне негативное воздействие.

СНОВА В МОСКВЕ

В московском аэропорту нас встретили по высшему разряду. Нина Савельева встретила нас на выходе из зала прилета и проводила в автобус, где поднесла каждому по рюмочке коньячку. Появившись на следующий день в институте, увидели, что в нашей лаборатории вовсю идет работа: готовились к наблюдениям пульсаров в Крыму. Я готов был присоединиться, но сначала нужно было поставить точку в этом нашем грандиозном камчатском эксперименте: обработать данные наших наблюдений, которые стоили нам таких огромных усилий. За это дело немедленно взялись мы с Наташей, которая взяла на себя расшифровку и анализ данных с АМС Марс-7. С обработкой мы не затягивали, основную работу сделали месяца за два-три. Полтора года у нас ушло на работу над статьей «Всенаправленный поиск моноимпульсных сигналов от астрономических объектов», которая появилась в первом номере «Астрономического журнала» за 1977 г.

Надо признать, что читать эту статью довольно скучно. В ней подробнейшим образом представлены результаты наблюдений и дан детальный их анализ. И вот что в итоге было зарегистрировано.

- Космические импульсы: четко регистрируются все солнечные всплески всех типов.

- «Паразитные» события: регистрируются все пролетающие спутники. Мы отнесли к паразитным явлениям также нерегулярные последовательности отдельных коротких импульсов, наблюдавшихся одновременно в двух пунктах на частоте 38 МГц, решив, что они связаны либо со спутниками на высоких орбитах, либо с земными помехами, отраженными ионосферой. Зарегистрировано 4 таких последовательности, вне времени совместной видимости Солнца.

- За время наблюдений не было ни одного импульса из дальнего космоса, дальше 30 пк от Солнца.

- События, совместно зарегистрированные АМС Марс-7 и наземными станциями. Зная разницу моментов времени, когда событие зарегистрировано на Земле и на космическом аппарате, отстоящем от нее на миллионы километров, можно на небесной сфере провести малый круг, который будет геометрическим местом точек, откуда мог прийти этот импульс. Этот круг всегда проходил через Солнце. Безусловно, был бы сделан вывод, что все эти события – солнечные всплески – если бы не Камчатка. Одно событие 20 февраля могло быть исключением, об этом чуть ниже.

Я неоднократно возвращался к этим нашим данным, каждый раз, когда появлялось что-нибудь новое о космических импульсах. Имей мы тогда более совершенную систему регистрации, а не просто запись на бумажную ленту, мы смогли бы уловить сверхгигантские импульсы пульсара в Крабовидной туманности с пиковой плотностью потока в миллионы янских, такие, какие наблюдали потом в Калязине на 64-метровом радиотелескопе ОКБ МЭИ.

СОБЫТИЕ 20 ФЕВРАЛЯ 1974 ГОДА

Событие 20 февраля зарегистрировали на обеих частотах 38 и 60 мегагерц АМС Марс-7 и все наземные станции, включая Камчатку, где оно наблюдалось также и на дециметровых волнах. Безо всяких долгих разговоров его отнесли бы, ничуть не сомневаясь, к солнечным всплескам. Если бы не Камчатка: «Московское время 15 часов... В Петропавловске-Камчатском полночь». Событие произошло в 11 часов 31 минуту по Всемирному времени. Разница между Всемирным временем и Камчаткой составляет ровно 12 часов, в это время Солнце в Снежном было глубоко под горизонтом, там никак не могли наблюдать солнечный всплеск.

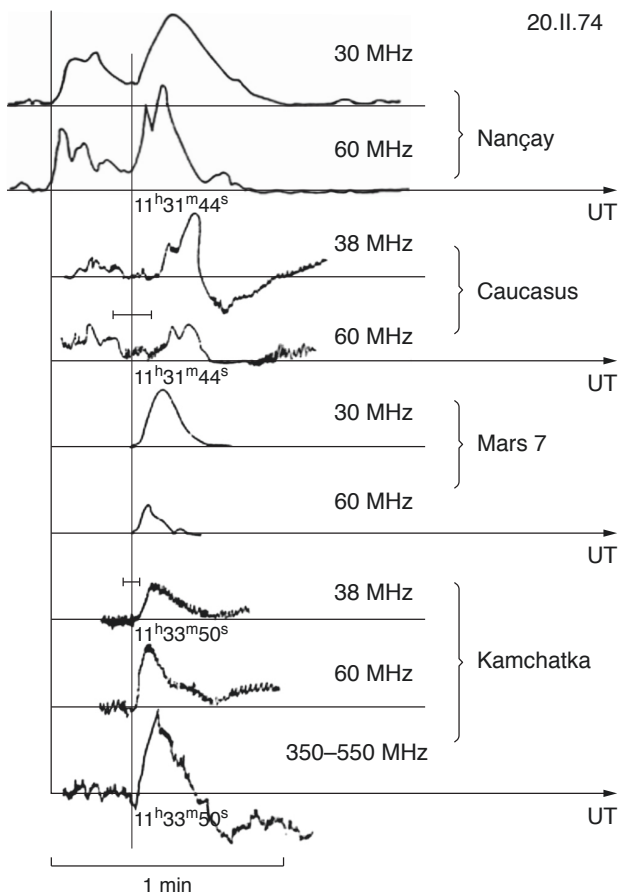
Но если не Солнце, то что? Откуда прилетел таинственный импульс? Если бы работал аппарат Марс-6, то точка пересечения двух кругов точно указала бы нам откуда. Но увы! Связь с аппаратом была потеряна с самого начала, так что приходилось довольствоваться тем, что есть, единственным кругом.

Следующая по яркости звезда, попадающая на круг – это Регул, α Leo, самая яркая звезда созвездия Льва, находится в 30 парсеках от нас. Очень молодая звезда, совсем не похожая на Солнце (напомним, что концепция Кардашёва вовсе не предполагала поиск ВЦ, подобных земной, в отличие от американской программы). В системе Регула было открыто много интересного. Позднее мы с Наташей попытались следить за этой звездой, наведя на нее огромный радиотелескоп УТР, расположенный под Харьковом, который имел самую большую площадь в этом диапазоне длин волн, но ничего похожего на событие 20 февраля не заметили. Возможно, потому, что наблюдения проводились в дневное время, не самое удачное. Днем на этих волнах исключительно

но высокий уровень помех, ночью, при спокойной ионосфере, он значительно ниже.

В статье мы ограничились очень осторожным комментарием, фразой «но в это время на Камчатке была глубокая ночь», но привели рисунок. Стоит обратить внимание на то, что только камчатская запись в точности, во всех деталях повторяет сигнал, зарегистрированный космическим аппаратом. В других пунктах, на Кавказе и в Нансэ, такого детального совпадения нет. Возможно, событие просто случайно наложилось на действительно солнечный всплеск. Не все солнечные всплески, которые наблюдали в Нансэ, регистрировал и Марс-7, и наоборот, поскольку излучение имело некоторую направленность, изучить ее и было целью французского эксперимента. Теперь я понимаю, что зря мы тогда так скромничали. Отдельно об этом событии надо было опубликовать небольшую заметку.

Финальный итог можно сформулировать так. «Радиогромких» событий, сопровождающих взрывы сверхновых и другие катастрофические явления как в нашей Галактике, так и во всей Вселенной, не было обнаружено. Это могло быть либо потому, что предсказывавшие их теории неверны (Колгейт), либо потому, что импульсы где-то чем-то поглощаются. Также из наблюдений следовало, что все совпадающие события имеют локальное происхождение, возможно, за единственным исключением. Вывод: эти события – или естественной природы (солнечные всплески), или помехи со спутников либо с поверхности Земли, отраженные ионосферой. Единственным возмож-



Сигнал 20 февраля 1974 года

ным исключением могло бы стать событие 20 февраля 1974 года, длительностью около 20 секунд, зарегистрированное на всех станциях, включая космический аппарат и Камчатку, и на всех частотах. По форме этот сигнал напоминает солнечный всплеск, но на Камчатке Солнце было под горизонтом.

Так закончилась камчатская экспедиция. Были получены четкие определенные результаты, достигнуты все поставленные цели эксперимента, в том числе и главная – обнаружен сигнал, пришедший из космоса, зарегистрированный в широком диапазоне частот. Все это вполне оправдывает затраченные усилия и средства.

МОЙ ДРУГ НИКОЛАЙ КАРДАШЁВ

КУРТ Владимир Гдалевич,

доктор физико-математических наук, профессор

Астрокосмический центр ФИАН

DOI: 10.7868/50044394823020068

Я познакомился с Колей Кардашёвым зимой 1948 г., когда мы учились в 9-м классе. И сразу подружились на почве любви к астрономии. Повстречались мы с ним в астрономическом кружке Московского Планетария, куда он хаживал уже второй год, а я только там появился, хотя занимался любительской астрономией уже два или три года, мастера из очковых стекол самодельные примитивные телескопы и читая популярную астрономическую литературу, начиная, конечно с Фламариона¹. Руководил старшими астрономическими кружками замечательный лектор Феликс Юрьевич Зигель², преподававший высшую математику (матанализ) в Московском авиационном институте. Его занятия и лекции в Большом зале Планетария часто напоминали театральные спектакли с участием сотрудников Плана-



Академик Н.С. Кардашёв. 2010-е гг.

тария и даже слушателей в зале. Мы быстро сдали с Колей экзамен на пользование телескопом-рефрактором, стоявшим на астрономической площадке Планетария и стали что-то наблюдать в ясные ночи. Я помню, что наблюдал полосы на диске Юпитера, а Коля, кажется, какие-то переменные звезды. Я знал, что он живет со своей тетей Мариной где-то в центре Москвы, тогда как я жил на Ярославском шоссе недалеко от выставки (ВСХВ, ныне – ВДНХ). Я тогда ничего и не знал о его трагической детской жизни, которая стала мне известна через десяток лет, когда мы уже окончили Университет и давно работали вместе бок о бок всю последующую жизнь.

Коля родился 25 апреля 1932 г. в обеспеченной семье профессиональных революционеров со стажем в партии ВКП(б) с 1918 г. Я выписал все данные о его отце из справки КГБ, выданной его матери Нине Николаевне Кардашёвой уже в 1957 г. после его реабили-

¹ Камилл Николя Фламарион (1842–1925) – французский астроном (сотрудник Парижской обсерватории) и писатель, популяризатор астрономии, опубликовал более 50 книг, «Популярная астрономия» переведена на все европейские языки. Зигель Ф.Ю. Камилл Фламарион (к 125-летию со дня рождения) // Земля и Вселенная, 1967, № 2. С. 74–78; Стражева-Янгель И.В. Камилл Фламарион (к 150-летию со дня рождения) // Земля и Вселенная, 1992. № 1. С. 43–48.

² Ф.Ю. Зигель (1920–1988) – математик и астроном, кандидат физико-математических наук, доцент МАИ, популяризатор науки, уфолог, автор 43 научных и научно-популярных книг и более 300 статей об астрономии и космонавтике.

литации и ее возвращения из ссылки. Вот она целиком и даже с фотографией: Брикке Семён Карлович (1898). Дата рождения: 1898 г. Место рождения: в Кишеневе. Пол: мужчина. Национальность: еврей. Образование: среднее. Профессия/место работы: уполномоченный КПК при ЦК ВКП(б) по Азово-Черноморскому краю. Место проживания: Москва, Денежный пер., дом 11, кв. 25. Партийность: член ВКП(б). Дата расстрела: 30 октября 1937 г. Место смерти: Москва. Место захоронения: Москва, Донское кладбище. Мера пресечения: арестован. Дата ареста: 8 мая 1937 г. Обвинение: участие в антисоветской контрреволюционной организации. Осуждение: 29 октября 1937 г. Осудивший орган: ВКВС СССР. Приговор: ВМН³. Дата реабилитации: 7 апреля 1956 г. Реабилитирующий орган: ВКВС СССР.

Я полагаю, что сокращения в этом страшном документе не нуждаются в расшифровке. Его мать Нина Николаевна Кардашёва, также была арестована и сослана в АЛЖИР – это страшный Акмолинский лагерь жен изменников родины в пустыне Средней Азии. Там она сидела свыше 10 лет, а затем сослана без права проживания в 50 больших городах СССР. Нина Николаевна окончила Институт красной профессуры и работала в органах Коминтерна. Маленького Колю, ему было всего пять лет, и отца он не помнил, отдали в детский дом для арестованных родителей, откуда его с огромным трудом забрала, только через год, его няня, а потом он жил с родственницей матери. Я хорошо

³ Высшая мера наказания (расстрел). По печально известной статье 58 Уголовного кодекса РСФСР 1922 г. в редакции 1926 г. и более поздних редакциях предусматривалось наказание за участие в антисоветской контрреволюционной организации. С 1921 по 1953 г. за контрреволюционные преступления по статье 58 было осуждено 3 777 380 человек, в том числе приговорены к высшей мере наказания – расстрелу – 642 980 человек.



В.В. Базыкин (1916–1974) – директор Московского планетария и директор павильона «Космос» на ВДНХ. Фото из архива Р.Л. Хотинка

знал Нину Николаевну, когда она уже после ссылки в 1955 г. смогла поселиться с Колей и получила хорошую квартиру на Университетском проспекте рядом с ГАИШ МГУ⁴. В этой квартире Коля и прожил всю свою жизнь с Ниной Николаевной, женой Тамарой и дочерью Машей. Его жена Тамара Валентиновна Казачевская (07.01.1933–30.12.2020) училась с нами в одной группе после ее перевода со 2-го курса из Алма-Атинского университета. Ее отец работал в Институте астрофизики Казахской Академии наук, и я хорошо помню, как Валентин Михайлович Казачевский защищал диссертацию по определению звездной величины Земли, наблюдаемой с лунной поверхности. Для этого

⁴ Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова. Черепашук А.М. ГАИШ МГУ – от истоков до наших дней // Земля и Вселенная, 2006. № 6. С. 3–14.

он использовал собственные наблюдения пепельного света Луны.

Замечательный директор Московского Планетария Виктор Васильевич Базыкин знал о страшной жизни школьника кружковца Коли Кардашёва и старался всячески его опекать, помогая ему во всем. После окончания университета Тамару Казачевскую распределили в Крымскую астрофизическую обсерваторию, через год она стала женой Николая и переехала к нему в Москву. Всю свою жизнь она проработала в Институте прикладной геофизики Гидрометцентра, экспериментально занимаясь жестким ультрафиолетовым излучением Солнца. Меня потом всегда поражало, и поражает по сей день, как Нина Николаевна уговаривала нас с сыном вступать в партию КПСС после всего ею пережитого. Но, по-видимому, таких людей немало.

Мы с Колей не получили медали, хотя оба учились в школе отлично и должны были в 1950 г. сдавать по конкурсу все 8 экзаменов на механико-математический факультет МГУ для поступления на астрономическое отделение. Экзамены на мехмат оказались общими для всех кафедр, а именно: три экзамена по математике (алгебра, геометрия с тригонометрией и общий устный экзамен), физика, химия, сочинение, литература и иностранный язык. Мы с Николаем успешно все сдали, а кроме того, Феликс Юрьевич Зигель написал нам обоим рекомендации для поступления на мехмат. Хорошо помню, что я чуть ли ни единственный из 815 абитуриентов сдал все три экзамена по математике на пятерки, но получил тройку по химии, поспорив с экзаменатором на тему о существовании элементов с целочисленным атомным весом.

Учились мы в старом здании МГУ на Моховой до 3-го курса, и наша группа А11 на первом курсе насчитывала 20 студентов. Астрономические лекции нам читали в старом здании Обсерва-

тории на Красной Пресне (пер. Павлика Морозова, дом 5)⁵, а в новое здание ГАИШ мы переехали только в 1954 г., когда перешли уже на 4-й курс. Учили нас «по старинке» математике, механике, астрометрии, звездной астрономии и небесной механике, но почти не учили физике и астрофизике. Лишь Иосиф Самуилович Шкловский⁶ читал нам всего один семестр квантовую механику, а общую физику читал Анатолий Болеславович Млодзиевский, сын выдающегося российского математика Болеслава Корнелиевича Млодзиевского. Читал с блеском, но старомодно, а демонстрации делал сын другого знаменитого российского физика Умова⁷. Астрономическую же практику после 2-го и 3-го курса мы проходили в основном на Обсерватории ГАИШ в Кучино, что в 40 км по Горьковской железной дороге. Летом практика в основном сводилась к игре в волейбол во дворе обсерватории. Николай отлично играл, а еще лучше плавал кролем в бассейне главного здания МГУ. Потом мы с ним и с И.С. Шкловским много лет ходили туда плавать.

Уже со второго курса Николай Кардашёв отличался нестандартным мышлением. Например, я помню, как он пытался повысить чувствительность

⁵ Менцин Ю.Л. Музей истории университетской обсерватории и ГАИШ // Земля и Вселенная, 2006. № 6. С. 92–96.

⁶ И.С. Шкловский (1916–1985) – астрофизик, доктор физико-математических наук, член-корреспондент АН СССР, профессор, основатель школы современной астрофизики, автор 9 монографий и более 300 научных публикаций по астрофизике, популяризатор астрономии; Курт В.Г. Иосиф Самуилович Шкловский (к 90-летию со дня рождения) // Земля и Вселенная, 2006. № 4. С. 60–65; Гиндилис Л.М. Иосиф Самуилович Шкловский (к 100-летию со дня рождения) // Земля и Вселенная, 2016. № 5. С. 90–102.

⁷ Н.А. Умов (1846–1915) – физик-теоретик, доктор, доцент, заслуженный профессор Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, президент Московского общества испытателей природы.

астрономических фотоматериалов, прикладывая к ним высокое напряжение вплоть до 20 киловольт. Занимаясь астрофизикой на кафедре, он также в начале своей деятельности пробовал работать и в области небесной механики. Астрофизику нам читали заведующий кафедрой Григорий Фёдорович Ситник, Владимир Евгеньевич Степанов, а потом и переехавший из Казани ректор Казанского университета Дмитрий Яковлевич Мартынов⁸, вскоре ставший директором ГАИШ, а потом и заведующим кафедрой астрофизики уже после того, как наше астрономическое отделение было переведено с механики на физфак. Всеми курсовыми работами руководила Наталья Борисовна Григорьева, которая вела и астрофизический практикум начиная с 3-го курса. Лучше всех учились наши небесные механики Виктор Брумберг и Алёна Вашкова, а из астрофизиков Юрий Гальперин, Коля Шефов и Эдвард Кононович. Мы тоже не отставали с Николаем. С 3-го курса у нас с ним появился и учитель, уже на всю жизнь, молодой профессор И.С. Шкловский, которому в год нашего выпуска в 1955 г. исполнилось всего-то 35 лет. С ним мы и прожили всю свою жизнь, оставшись после распределения в отделе Радиоастрономии ГАИШ. Коля с блеском защитил диплом на тему эволюции радиоисточников, которые светились в радиодиапазоне при релятивистском движении электронов в магнитном поле. С этого времени Николай Семёнович становится одним из лучших радиоастрономов

⁸ Д.Я. Мартынов (1906–1989) – доктор физико-математических наук, профессор, директор ГАИШ МГУ в 1956–1976 гг., президент Всесоюзного астрономо-геодезического общества, главный редактор журнала «Земля и Вселенная» в 1964–1989 гг. *Черепашук А.М.* Дмитрий Яковлевич Мартынов; *Левитан Е.П.* Мартынов – первый главный редактор нашего журнала // Земля и Вселенная, 2006. № 2. С. 57–67.

в нашей стране. Мне не так просто перечислить его основные работы в области радиоастрономии, так как я работал в области рентгеновской и ультрафиолетовой астрономии. Некоторое время Николай оставался в аспирантуре у И.С. Шкловского, а я защищал кандидатскую диссертацию в 1961 г., не будучи аспирантом.

Наилучшей работой Н.С. Кардашёва, на мой взгляд, была его замечательная идея о возможности наблюдения Ридберговских линий в спектрах водорода, гелия и углерода. Эти линии возникают при переходах при рекомбинации с высоких уровней с разницей квантовых чисел на 1 или 2. Например, с 702-го на 701-й уровень. Такие линии в лабораторных условиях, естественно, не могут существовать из-за уширения этих линий в результате эффекта Штарка (взаимодействие атомов с электронным полем). При этом они сливаются в зависимости от электронной плотности среды. Однако в межзвездной среде в газовых туманностях с невысокой плотностью 10^3 – 10^6 эл/см³ – эти линии вполне могут существовать и наблюдаться в сантиметровом и миллиметровом радиодиапазонах. Таким образом, Николай Семёнович сделал возможным исследовать плотность атомов водорода и гелия в горячих, ионизованных областях межзвездной среды. До этого исследования проводились лишь для нейтрального холодного водорода в линии 21 см. Здесь стоит заметить, что впервые такие наблюдения ранее предложил проводить его учитель, И.С. Шкловский. Вскоре эти рекомбинационные линии были обнаружены у нас в ФИАН⁹ на радиотелескопе РТ-22 в Пушчинской радиоастрономической обсерватории группой наблюдателей во главе с ее сотрудником Романом Леонидовичем Сороченко, а через год (в 1988 г.) всех их во

⁹ Физический институт АН СССР, ныне Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН.

главе с Н.С. Кардашёвым отметили Государственной премией за цикл работ 1959–1986 гг. «Открытие и исследование спектральных радиолиний высоковозбужденных атомов (рекомбинационных радиолиний)».

Начиная с 1958 г. мы с Николаем были увлечены возможностью использовать космические аппараты для астрономических наблюдений, которые невозможно проводить с поверхности Земли. Наш шеф, И.С. Шкловский, познакомил нас с С.П. Королёвым, на фирме которого в ОКБ-1 готовились тогда к запуску аппараты для исследования Луны. Примерно в это время в нашем отделе появился талантливый Вячеслав Иванович Слыш¹⁰, ставший нашим другом и ближайшим сотрудником И.С. Шкловского. Вдвоем с Николаем Семёновичем они сообразили, что с лунных аппаратов можно искать радиоисточники в низкочастотном диапазоне радиоволн на частотах ниже 10–30 мГц. Эти частоты невозможно исследовать с поверхности Земли из-за их поглощения на высотах от 100 км и 1000 км в ионосфере. Они сконструировали приемник КЯ-1 с несколькими каналами в этом диапазоне и сделали 10-метровую антенну, раскрывающуюся наподобие «рулетки». К сожалению, первые запуски лунных аппаратов



*Доктор физико-математических наук
Н.С. Кардашёв. 1970-е гг.*

были сплошь неудачными, и мы с Колей и Славой Слышем месяцами просиживали на полигоне Тюратам (он же для журналистов и широкой публики – Байконур). После нескольких очень успешных пусков в 1966 г. (искусственные спутники Луны «Луна-11» и «Луна-12») они выяснили, что в основном это излучение генерируется в радиационных поясах Земли, а излучение от космических источников полностью поглощается

в межпланетной среде. Впоследствии эту тематику передали из ИКИ АН СССР, где мы к тому времени оказались, в ГАИШ, где она успешно продолжалась В.Н. Курильчиком и В.П. Григорьевой с сотрудниками.

Николай Семёнович в основном много и успешно продолжал работать в области теории тепловых и нетепловых источников радиоизлучения и в 1962 г. успешно защитил в ГАИШ МГУ кандидатскую диссертацию. Ученый совет, на котором проходила эта защита, предложил Н.С. Кардашёву в виде исключения представить эту же работу в качестве докторской диссертации и через год он там же ее успешно и защитил.

Рассматривая сжатие замагниченной звезды в нейтронную звезду размером порядка 20 км при гигантском усилении магнитного поля, вплоть до 10^{11} Гс, замороженного в межзвездную среду, Николай Семёнович предсказал существование радиопульсаров за много лет до их открытия¹¹. Прав-

¹⁰ В.И. Слыш (1935–2008) астрофизик, доктор физико-математических наук, член-корреспондент АН СССР, в 1968–1990 гг. – руководитель отдела Института космических исследований АН СССР, в 1990–2008 гг. – заместитель директора АКЦ ФИАН, опубликовал более 200 научных статей по астрофизике. Курт В.Г. Памяти Вячеслава Ивановича Слыша // Земля и Вселенная, 2009. № 1. С. 35–36.

¹¹ Хьюиш Э. Пульсары; Гинзбург В.Л. Что такое пульсары? // Земля и Вселенная, 1971. № 2. С. 19–27.

да, структура магнитного поля наподобие дорожек на грампластинках не подтвердилась, силовые линии разрывались много ранее.

Занимаясь совместно с американскими радиоастрономами радионаблюдениями с помощью радиоинтерферометров, он с нашими сотрудниками Леонидом Ивановичем Матвеенком и Генадием Борисовичем Шоломицким совершили выдающееся открытие, предложив создание межконтинентального радиоинтерферометра с базой порядка диаметра Земли и с независимой регистрацией коррелированных сигналов на магнитофонах¹². Для синхронизации сигналов там же регистрировался и сигнал атомного генератора частоты. Это предложение и было реализовано с базами США – Австралия, США – Евпатория, Бонн – Евпатория и многими другими парами больших радиоантенн, что дало возможность впервые реализовать угловое разрешение порядка миллисекунд дуги – в тысячу раз лучше оптического разрешения. Я серьезно полагаю, что эта работа вполне могла быть номинирована на Нобелевскую премию. Осуществив программу интерферометрии со сверхдлинными базами, Н.С. Кардашёв задумался и о создании наземно-космического интерферометра с базой больше диаметра Земли. Однако это требовало иметь на борту космического аппарата атомный стандарт частоты, синхронизированный с аналогичным стандартом на второй наземной антенне. Кроме того, наземно-космический интерферометр требует изме-



*Г.Б. Шоломицкий, И.С. Шкловский
и Н.С. Кардашёв в ГАИШ МГУ. 1965 г.*

рения положения аппарата в космосе с невиданной тогда точностью порядка длины волны. Пришлось ждать много лет, пока такой проект смог быть реализован.

Проверкой идеи использования космического радиотелескопа для исследований астрофизических объектов стал запуск 30 июня 1979 г. на корабле «Прогресс-7» первого в мире радиотелескопа КРТ-10 с диаметром антенны 10 м, доставленного на пилотируемую станцию «Салют-6». Космонавты В.А. Ляхов и В.В. Рюмин смонтировали все блоки КРТ-10, укрепили его на промежуточной камере станции, 17 июля, после отхода корабля «Прогресс-7» от станции, экипажем произведено выдвижение элементов конструкции КРТ-10 и раскрыта его антенна. Экипаж выполнил регистрацию источников радиоизлучения, в том числе Кассиопея А (Крабовидная туманность). 9 августа работы с КРТ-10 закончились¹³. В 1980 г. в числе разработчиков этого эксперимента Николай Семёно-

¹² Матвеенок Л.И. 40-лет радиоастрономии со сверхбольшими базами // Земля и Вселенная, 2003. № 4. С. 55–68.

¹³ Заксон М.Б., Кардашёв Н.С. и др. Первый радиотелескоп в космосе // Земля и Вселенная, 1980. № 4. С. 2–9.

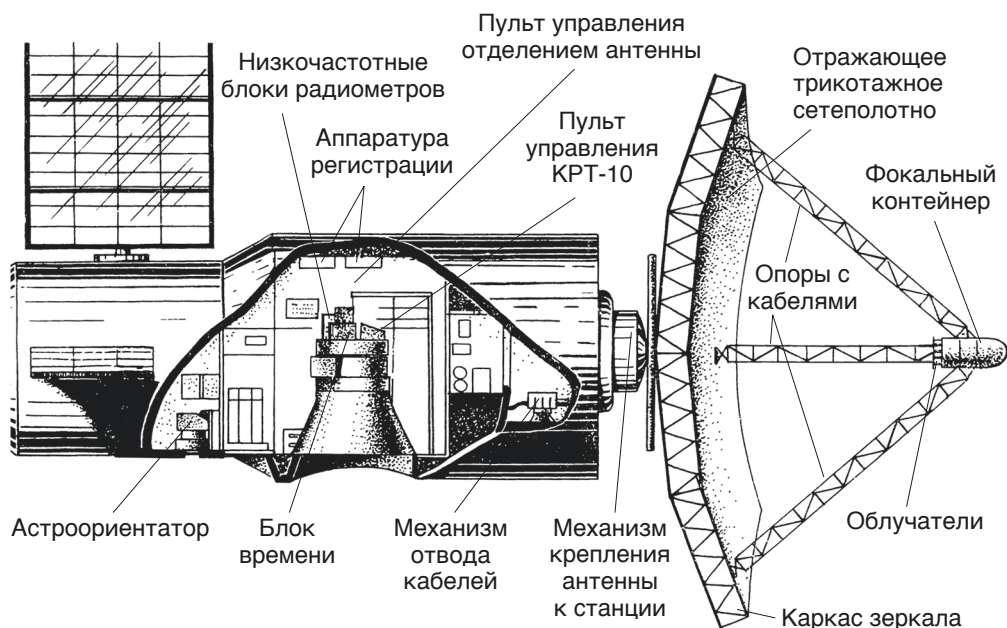
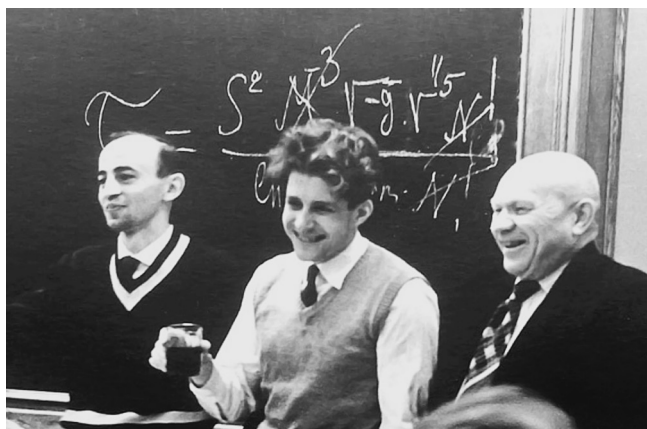


Схема размещения радиотелескопа КРТ-10 на орбитальной станции «Салют-6». 1979 г.

вич был удостоен Государственной премии СССР.

Прекрасной его идеей стала задача поиска одиночных и коротких всплесков радиоизлучения в сантиметровом диапазоне. С этой целью в нашем отделе, уже в ИКИ АН СССР, были организованы в 1980-е гг. одновременные

экспедиции на Кавказ и в Среднюю Азию для синхронной регистрации таких событий. Сегодня эта тематика входит в программу многих радиоастрономических обсерваторий во всем мире, и такие одиночные всплески наблюдаются, но их природа пока не определена.



И.Д. Новиков, Н.С. Кардашёв и К.А. Куликов после семинара. 1970-е гг. Фото из архива И.Д. Новикова

Н.С. Кардашёв, несомненно, является одним из пионеров изучения проблемы существования разумной жизни во Вселенной (SETI)¹⁴. Вместе с И.С. Шкловским он был одним из организаторов

¹⁴ Кардашёв Н.С. Передача информации внеземными цивилизациями // *Астрономический журнал*, 1964. Т. 41. С. 282–287; Гиндилис Л.М., Каплан С.А., Кардашёв Н.С. и др. *Внеземные цивилизации: проблемы межзвездной связи*. М.: Наука, 1969.

знаменитой Конференции SETI в Бюраканской обсерватории в 1976 г.¹⁵ Ему принадлежит идея о классификации внеземных цивилизаций в зависимости от используемой энергии своей звезды, своей планеты или даже энергии всей галактики.

Николай Семёнович всегда стремился построить свой полноповоротный радиотелескоп с антенной диаметром 50–75 м, пригодной для наблюдений в сантиметровом или даже в миллиметровом диапазонах. Им для этого предложена идея многоэлементного зеркала с подвижными элементами с числом в пределах 300–1000. В результате поисков высокогорного места для такого телескопа и нескольких экспедиций мы выбрали район с очень малым уровнем помех и с высокой прозрачностью (до 8 мм) на плато Суффа в Узбекистане, на высоте 3000 м над уровнем моря. Строительство, вполне удачно начатое в 1985 г., прервалось из-за распада Советского Союза в 1991 г., стройка и по сей день не завершена¹⁶. Будем надеяться, что в ближайшее время Россия и Узбекистан завершат сооружение этого телескопа, который станет замечательным памятником Н.С. Кардашёву и будет носить его имя.

Я полагаю, что вершиной научной работы Николая Семёновича можно



Старт космического аппарата «Спектр-Р» с радиотелескопом «Радиоастрон» с космодрома Байконур на тяжелой ракете-носителе «Зенит-3SL5». 18 июля 2011 г.

считать благополучное создание наземно-космического радиоинтерферометра «Радиоастрон». Успешный запуск 18 июля 2011 г. космического аппарата «Спектр-Р» с радиотелескопом «Радиоастрон» на высокоэллиптическую орбиту с высотой апогея 338 542 км произведен с космодрома Байконур с помощью ракеты-носителя «Зенит-3SL5»¹⁷. «Радиоастрон» с 10-метровой радиоантенной для наблюдений из космоса спроектировали и построили специалисты ОКБ им. С.А. Лавочкина. Хотелось отметить выдающуюся роль в создании спутника «Спектр-Р» главного конструктора Владимира Евгеньевича Бобышкина из ОКБ им. С.А. Лавочкина и Николая Георгиевича Бабакина из АКЦ ФИАН. На борту спутника имелся атомный водородный стандарт частоты для синхронизации наблюдений на Земле и в космосе. В этих парных наблюдениях участвовали многие большие радиотелескопы в России, Германии, Англии, Австралии и США, в том числе наш 64-метровый радиотелескоп КРАО АКЦ ФИАН в Калязине (Тверская область).

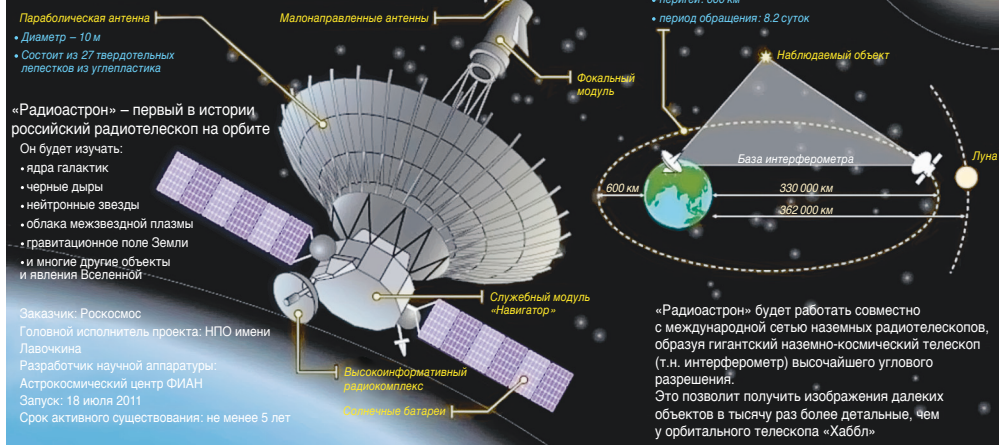
¹⁵ Гиндилис Л.М. 40 лет SETI в СССР и России // Бюллетень CAO РАН, 2007. № 60–61. С. 25–31; Архипов А.В. Правда о SETI // Земля и Вселенная, 1995. № 2. С. 33–37; Ксанфомалити Л.В. SETI – проблема или миф? // Земля и Вселенная, 1996. № 2. С. 38–45.

¹⁶ Гиндилис Л.М. Миллиметровый радиотелескоп РТ-70 (плато Суффа, Узбекистан) // Земля и Вселенная, 1990. № 4. С. 26–31.

¹⁷ На орбите – «Спектр-Р» // Земля и Вселенная, 2011. № 6. С. 17–18.

Российская космическая обсерватория «Радиоастрон»

Проект «Радиоастрон» позволит увидеть далекие объекты космоса в небывалом разрешении



Космический аппарат «Спектр-Р» и схема ее орбиты наблюдений астрофизических объектов. Рисунок Роскосмоса

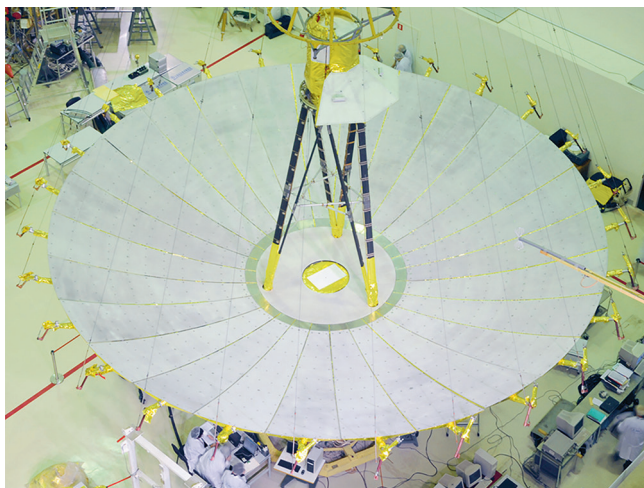
На борту спутника «Спектр-Р» находилась система звездной астроориентации, позволявшая наводить антенну на исследуемый источник с точностью в несколько угловых секунд. Основой эксперимента являлись бортовые высокочувствительные охлаждаемые приемники на четыре длины волны: 1.35 см; 6 см; 18 см и 92 см. Приемник с длиной волны 1.35 см предназначался для наблюдений мазерного излучения водяного пара H_2O , именно с ним было достигнуто рекордное угловое разрешение, равное 7 микро-секундам дуги с базой Земля – космос в 350 тыс. км. Приемник для регистрации 18 см предназначался для наблюдения источников излучения молекулы гидроксила OH .

«Спектр-Р» установил два рекорда Гиннеса: рекордное угловое разрешение и 10-метровая бортовая антенна. На аппарате использовались две системы телеметрии: одна для передачи данных всех служебных систем спутника с памятью на борту и вторая – для передачи интерферометри-

ческих данных со скоростью 140 мегабит в секунду, работающая в режиме непосредственной передачи научных данных без запоминания на борту. Регистрировались и метки бортового атомного водородного стандарта частоты с невероятной точностью, около 10^{-14} с за секунду, т. е. ошибка в 1 с может набегать чуть ли не за несколько миллионов лет! Процесс синхронизации бортовых и наземных наблюдений проводился на специальных компьютерах в АКЦ ФИАН, где под руководством доктора физико-математических наук С.Ф. Лихачёва была создана вся система совместной обработки бортовых (космических) и наземных данных. Прием этой огромной информации (140 мегабит в секунду) при длительности сеанса в несколько часов составлял несколько терабайт и занимал целиком один винчестер. Прием всей информации велся на трех станциях: Медвежий Озера около Москвы – с помощью 64-метрового радиотелескопа ТНА-1500 велась регистрация бортовой памяти,

две станции в Пушино, на нашей антенне РТ-22, и в США с помощью там установленной нашей аппаратуры на 32-метровой антенне радиотелескопа Обсерватории Грин Бэнк. Сеансы связи проводились практически каждый день, и в сеансе иногда наблюдались несколько источников. Вся информация хранилась для последующей обработки в специально созданном архиве. Эта работа проводилась у нас в АКЦ ФИАН под руководством Марины Шацкой. Отбор небесных источников выполнялся Международным комитетом за месяц до наблюдений.

Спутник «Спектр-Р» проработал 7 лет 10 месяцев, и за это время были исследованы свыше 1000 радиоисточников малых угловых размеров: радиогалактик с активными ядрами, квазаров, пульсаров и межзвездной среды вблизи пульсаров. Научные задачи и методы их решения проводились большим коллективом радиоастрономов во главе с Н.С. Кардашёвым, Ю.Ю. Ковалёвым, М.В. Поповым и М.С. Бургиным. По результатам работы «Радиоастрона» в ведущих отечественных и международных астрономических журналах опубликовал свыше 150 статей¹⁸. Н.С. Кардашёв опубликовано несколько статей и в «Земле и Вселенной»¹⁹.



Антенна радиотелескопа «Радиоастрон» во время испытаний в НПО им. С.А. Лавочкина. 2009 г.

Работы Николая Семёновича высоко оценены в России и во многих странах Европы, Америки, Австралии и Японии. Он был дважды удостоен звания лауреата Государственной премии РФ в 1980 и 1988 гг., награжден Орденом Почета (2011), удостоен Демидовской премии (2014) и Международной золотой медали Грота Ребера.

Н.С. Кардашёв ушел из жизни 3 августа 2019 г. после тяжелой онкологии²⁰. Его жена Тамара не смогла пережить эту потерю и вскоре, 30 декабря 2020 г., тоже ушла из жизни. Они были похоронены рядом друг с другом на Троекуровском кладбище в Москве.

Сердечно благодарю Герасютина С.А. за помощь в подготовке к публикации моих воспоминаний.

¹⁸ Кардашёв Н.С. «Радиоастрон» – радиотелескоп много больше Земли. Научная программа // Успехи физических наук, 2009. Т. 179. № 11. С. 1191–1202; Кардашёв Н.С., Алакоз А.В., Ковалёв Ю.Ю. и др. «Радиоастрон»: итоги выполнения ранней научной программы исследований объектов Вселенной // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина, 2014. № 3 (24). С. 4–13; Ковалёв Ю.Ю. Семь лет «Радиоастрона» // Земля и Вселенная, 2019. № 5. С. 90–102.

¹⁹ Кардашёв Н.С., Матвеев Л.И. Исследования структуры радиоисточников // Земля и Все-

ленная, 1971. № 1. С. 36–41. Кардашёв Н.С., Новиков И.Д., Штерн Б.Е. Центр Галактики // Земля и Вселенная, 1984. № 5. С. 19–26; Кардашёв Н.С. Радиотелескоп больше Земли («Радиоастрон») // Земля и Вселенная, 2000. № 4. С. 3–10; Кардашёв Н.С. Космическая радиоастрономия // Земля и Вселенная, 2005. № 3. С. 3–12.

²⁰ Николай Семёнович Кардашёв (некролог) // Земля и Вселенная, 2019. № 4. С. 84–85.

«СПЕКТР-Р» КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

РЯЗАНЦЕВА Мария Олеговна,

кандидат физико-математических наук

Институт космических исследований РАН

DOI: 10.7868/5004439482302007X

ЗЕЛЁНЫЙ Лев Матвеевич,

академик РАН

Прошедший 2022 г. оказался удивительно богатым на юбилеи знаменитых ученых – исследователей космоса. Академик Николай Семёнович Кардашёв – один из них¹. Это был удивительно яркий, талантливый и успешный специалист в области радиоастрономии. Он был известен в том числе, широтой взглядов и необъятным кругозором. Его интересовало буквально все, что имело отношение к космосу: от фундаментальной астрофизики до внеземных цивилизаций (проблема SETI)². Так, например, благодаря всесторонней поддержке Н.С. Кардашёва в состав научной аппаратуры космического аппарата «Спектр-Р» (проект «Радиоастрон») вошел комплекс приборов эксперимента «Плазма-Ф»³ массой ~ 20 кг для проведения локальных измерений параметров заряженных частиц в межпланетном пространстве, принесящий результаты мирового уровня по исследованию турбулентности плазмы солнечного ветра.

ИСТОРИЯ УСПЕШНОГО ПОПУТЧИКА

Начало 2000-х гг. было одним из сложнейших времен для российской космической науки и техники. Промышленность оказалась почти разрушенной после десятилетия простоя, многие специалисты, особенно молодые, уехали за рубеж. Однако в Институте космических исследований (ИКИ РАН) жизнь была ключом благодаря проекту «Интербол», проводившему успешные исследования в космосе с 1995 по 2000 г.⁴ Этот проект принес значительное число ярких научных результатов и буквально вырастил поколение сильных, молодых и энергичных ученых и инженеров. Ведущий научный сотрудник лаборатории «Солнечного ветра» ИКИ РАН доктор физико-математических наук Георгий Наумович Застенкер, один из авторов экспериментов ВДП (Всенаправленный датчик потока) и МОНИТОР-3 на спутнике «Интербол-1»⁵, понимал, что для того, чтобы удержать

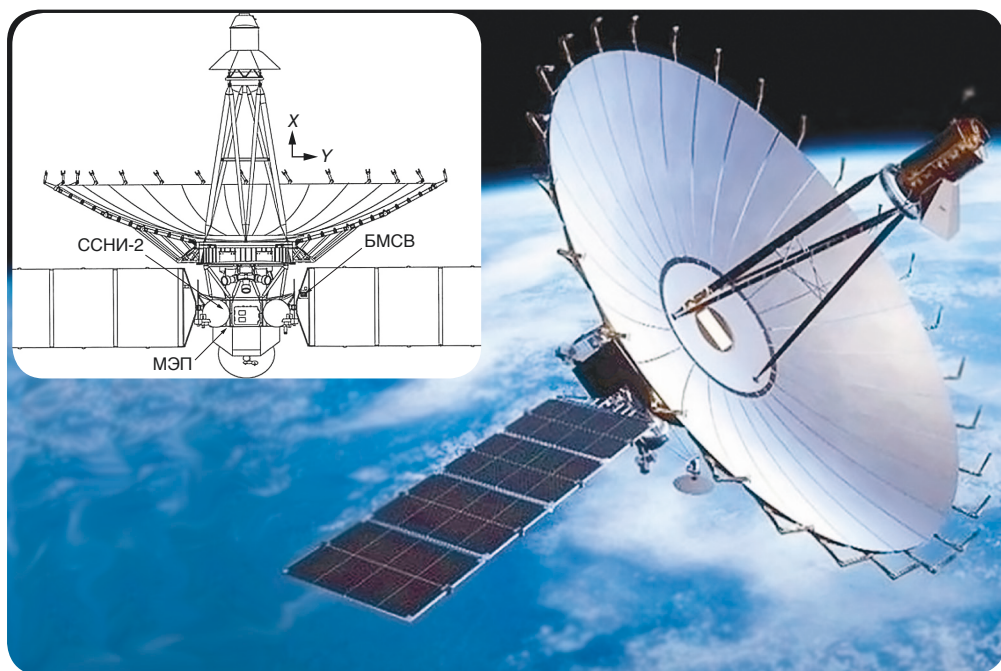
¹ Курт В.Г. Николай Семёнович Кардашёв (к 80-летию со дня рождения) // Земля и Вселенная. 2012. № 2. С. 52–57.

² Архипов А.В. Правда о SETI // Земля и Вселенная. 1995. № 2. С. 33–37. Ксанфомалити Л.В. SETI – проблема или миф? // Земля и Вселенная. 1996. № 2. С. 38–45.

³ Зелёный Л.М., Застенкер Г.Н., Петрукович А.А. и др. Эксперимент «Плазма-Ф» на спутнике «Спектр-Р» // Космические исследования. 2013. Т. 51, № 2. С. 83–87.

⁴ Ковражкин Р.А., Зелёный Л.М., Баклунов А.М. Проект «Интербол» // Земля и Вселенная. 1997. № 3. С. 21–31.

⁵ Застенкер Г.Н., Зелёный Л.М. Загадки солнечного ветра // Российский космос. 2011. № 10. С. 26–31; Кислов Р.А. Солнечный ветер и токовые слои: классические представления и новые открытия // Земля и Вселенная. 2022. № 1. С. 36–51.



Российский космический аппарат «Спектр-Р» на орбите (во врезке – размещение приборов эксперимента «Плазма-Ф»). Рисунок НПО им. С.А. Лавочкина

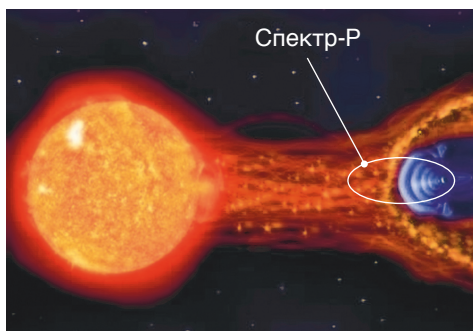
и укрепить лабораторию, необходим «живой» эксперимент. Но, к сожалению, все тематические эксперименты для исследований межпланетного пространства, предлагавшиеся в эти годы в институте, оставались только на бумаге.

Проект «Спектр-Р» был детищем академика Николая Семёновича Кардашёва, его мечтой и одной из главных целей в жизни. Поэтому не было сомнений, что ученый доведет его до реализации и запуска. Проект начал разрабатываться в АКЦ ФИАН еще в начале 1980-х гг.⁶ и должен был стать после запуска в 2002 г. миссии «Интеграл» (Роскосмос, ESA, NASA) первой в нашей стране космической астрофизической обсерваторией. Основной

научной целью этой космической обсерватории было изучение астрономических объектов в радиодиапазоне с беспрецедентным угловым разрешением.

Для миссии была выбрана высокоапогейная орбита до 350 тыс. км, с длительными выходами в течение 8 суток в открытое межпланетное пространство. Как правило, разработчики старались не совмещать на борту одного космического аппарата эксперименты, предназначенные для исследований в различных направлениях космической науки (к сожалению, это практикуется и по сей день как в России, так и за рубежом). Но идеальная для исследований солнечного ветра (высоко ионизированного потока солнечной плазмы) орбита не могла остаться незамеченной для сотрудников лаборатории солнечного ветра ИКИ РАН. Г.Н. Застенкер решил обратиться к своему

⁶ Кардашёв Н.С. Радиотелескоп больше Земли («Радиоастрон») // Земля и Вселенная. 2000. № 4. С. 3–10.



Область измерения процессов в плазме солнечного ветра, межпланетного магнитного поля и потоков энергетических частиц в межпланетном и околоземном космическом пространстве. Рисунок ИКИ РАН

давнему коллеге, ровеснику, и собрату по альма-матер (МГУ) Н.С. Кардашёву с просьбой рассмотреть вопрос о возможности попутного эксперимента на борту космического аппарата «Спектр-Р» в целях исследования межпланетного и околоземного космического пространства, в том числе турбулентности в плазме солнечного ветра. Николай Семёнович понимал, что изучение плазменной турбулентности в космическом пространстве может иметь фундаментальное значение и для решения астрофизических задач, поэтому поддержал идею, и в 2004 г. комплекс приборов «Плазма-Ф» был официально введен в состав научной аппаратуры спутника. Начались напряженные будни экспериментатора.

ЭКСПЕРИМЕНТ «ПЛАЗМА-Ф» И ДРУЖБА НАРОДОВ

Этот эксперимент был нацелен на фундаментальные исследования процессов в плазме межпланетного и околоземного космического пространства, а также мониторинга плазмы солнечного ветра, межпланетного магнитного

поля и потоков энергетических частиц («космическая погода»)⁷. В состав комплекса научного эксперимента «Плазма-Ф» вошли 4 прибора: быстрый монитор солнечного ветра БМСВ, спектрометр энергичных частиц электронов и протонов МЭП-2, магнитометр ММФФ с датчиками феррозондового и индукционного типов, а также блок сбора научной информации ССНИ-2. Предположительно, в результате ошибки бортовой программы, произошло повреждение кабеля для передачи информации с магнитометра, и данные с этого прибора были, к сожалению, потеряны. Оставшиеся два научных прибора успешно работали вплоть до прекращения функционирования аппарата в 2019 г. и позволяли проводить измерения с весьма высоким временным разрешением, позволяющим исследовать мелкомасштабные структуры и процессы в плазме такие как: тонкая структура ударных волн, вспыхивающие процессы ускорения энергичных частиц и турбулентность космической плазмы⁸. Отметим, что если высокдетальные измерения межпланетного магнитного поля давно являются нормой для космических экспериментов, например, магнитометры работали на космических аппаратах «Интербол-1/2» (Россия, 1995–1996 гг.), Cluster II (ESA – NASA, 2000 г.), Themis (США, 2007 г.) и др., то высокдетальные измерения потоков заряженных частиц проводились лишь эпизодически (отдельные измерения флуктуаций потока ио-

⁷ Климов С.И., Родин В.Г., Григорян О.Р. Изучение и контроль «космической погоды» // Земля и Вселенная. 2000. № 3. С. 9–18; Богачёв С.А., Ульянов А.С., Кириченко А.С., Лобода И.П., Рева А.А. Солнце под микроскопом – природа вспышек, микро- и нановспышки // Земля и Вселенная. 2021. № 4. С. 24–34.

⁸ Застенкер Г.Н., Шафранкова Я. Тонкая структура и быстрые вариации солнечного ветра // Земля и Вселенная. 2014. № 3. С. 17–28.

нов на спутниках OGO-5 (США, 1968 г.) и «Интербол-1» (1995 г.), а также плотности электронов на спутниках ISEE-1 и -2 (США, 1977 г.), Cluster II (ESA – NASA, 2000 г.), Themis/Artemis (ESA, 2007 г.)). Возможность систематических измерений параметров протонов с высоким временным разрешением качественно отличала эксперимент «Плазма-Ф» от аналогичных предыдущих и действующих экспериментов на других космических миссиях.

Несмотря на многолетний опыт в разработке космических приборов для исследования межпланетного и околоземного космического пространства, техническая реализация эксперимента столкнулась с рядом трудностей. Для решения их были привлечены к кооперации как коллеги из ближнего зарубежья (Киргизия, Украина), так и западные партнеры (Чешская Республика, Словакия, Греция, Китай), тесное сотрудничество со многими из которых (а порой и дружба) сохранилась со времен подготовки миссии «Интербол». Стоит отметить вклад НПО им. С.А. Лавочкина, предложившего удачное расположение спектрометра плазмы на кронштейнах панелей солнечных батарей, что позволило с высокой точностью держать направление прибора на Солнце и обеспечить почти непрерывные измерения потока солнечного ветра.

5 августа 2011 г. на «Спектре-Р» был включен комплекс приборов эксперимента «Плазма-Ф», выполнявший высокодетальные измерения вплоть до января 2019 г. Передача на Землю достаточно большого объема научной информации была ограничена из-за сложностей с телеметрией. Успех комплекса во многом определился уникальным блоком сбора научной информации ССНИ-2, разработанным кандидатом физико-математических наук Л.С. Чесалиным. ССНИ-2 позволял хранить более года накопленные



Прибор эксперимента «Плазма-Ф»
быстрый монитор солнечного ветра БМСВ.
Фото ИКИ РАН

данные непрерывных измерений научных приборов, при этом на Землю регулярно сбрасывались сжатые данные, по ним ученые – руководители экспериментов – могли выбрать наиболее значимые интервалы времени и события и впоследствии получить информацию с полным временным разрешением⁹.

Комплекс приборов «Плазма-Ф» был почти полностью создан на основе промышленной электронной компонентной базы, вручную отобранной и проверенной разработчиками приборов. Так, несмотря на крайне сжатые сроки и почти полное отсутствие финансирования, эксперимент удалось подготовить, и в 2009 г. были готовы штатные образцы приборов.

САМЫЙ СКОРОСТНОЙ В МИРЕ МОНИТОР СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

Монитор солнечного ветра БМСВ можно полноправно считать одним из успехов проекта «Спектр-Р». Идеологически простой и надежный прибор, позволил собрать уникальные данные, получить по результатам их анализа интересные

⁹ Застенкер Г.Н., Зелёный Л.М., Петруковач А.А., Чесалин Л.С. и др. Эксперимент «Плазма-Ф» – первые результаты работы // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2012. № 3 (14). С. 22–27.

научные результаты и опубликовать значительное число статей в ведущих научных журналах.

Принцип действия прибора основан на прямых измерениях тока заряженных частиц (в данном случае ионов) с помощью цилиндров Фарадея (устройство для определения полного электрического заряда и интенсивности пучка частиц). В состав прибора входят 6 подобных датчиков – 3 направлены на Солнце и служат для измерения интегрального потока ионов и функции распределения ионов по энергии на заряд; еще 3 датчика – отклонены под углами от оси прибора и служат для определения направления вектора потока. В состав прибора также входит датчик света, позволяющий уточнять отклонение прибора от направления на Солнце.

Датчики, входящие в состав прибора БМСВ, по сути, представляют собой металлические цилиндры с пластинкой-коллектором в торце. Заряженные частицы, проходящие через входное окно датчика и попадающие на коллектор, порождают токи, передающиеся на специальные аналоговые усилители и далее регистрируемые электроникой прибора. Несмотря на кажущуюся простоту, в приборе есть масса нюансов, требующих аккуратной проработки и реализации. Например, внутри цилиндра установлены несколько сеток для экранировки от электронов, компенсации вторичных электронов, а также модуляции по энергии регистрируемых частиц. Эти сетки должны создавать равномерный потенциал, но при этом обладать высокой прозрачностью. Толщина нитей в подобных сетках составляет ~ 20 мкм, при площади ячейки 1 мм², подобные сетки очень сложны в изготовлении, не производятся промышленным методом и создавались на специально разработанном станке в конструкторском

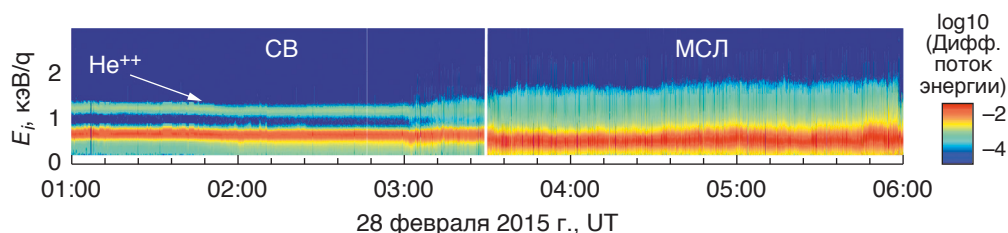
бюро (КБ) ИКИ в Бишкеке (Киргизия). Также сложной проблемой является подавление фототоков – токов от вторичных электронов порождаемых ультрафиолетовым излучением Солнца (в основном линией Лайман-альфа – спектральная линия водорода длиной волны 121.567 нм). Частично эти токи могут компенсироваться специальными сетками. Тем не менее важной задачей было уменьшение отражения ультрафиолетового излучения внутренними стенками и коллектором датчиков, для решения которой было использовано особое проводящее покрытие – черный хром, изготовленное в КБ ИКИ в Бишкеке.

Одной из главных сложностей приборов данного типа является регистрация малых токов на уровне $\sim 10^{-10}$ А и менее. Это требование было еще жестче для разработчиков прибора БМСВ, так как стояла задача регистрации флуктуаций потока ионов на несколько порядков ниже основного сигнала, что имеет принципиальное значение, например, при исследованиях характеристик турбулентных флуктуаций солнечного ветра. Поставленную задачу удалось реализовать с помощью блока электроники прибора, разработанного коллегами из Чешской Республики. В результате работы сплоченной команды сотрудников лаборатории солнечного ветра в ИКИ РАН под руководством Г.Н. Застенкера¹⁰ и сотрудников физического факультета Карлова университета в Праге (Чешская Республика) получилось создать уникальный прибор, предназначенный для детальных высокоточных измерений потока ионов и других параметров плазмы солнечного ветра

¹⁰ Застенкер Г.Н. Быстрые измерения параметров солнечного ветра с помощью прибора БМСВ // Космические исследования. 2013. Т. 51, № 2. С. 88–99.

Доктор физико-математических наук
профессор Г.Н. Застенкер с прибором БМСВ
в ИКИ РАН

Спектрограмма дифференциального потока
ионов от отношения энергии на заряд
по измерениям прибора БМСВ в разных
областях околоземного пространства
в солнечном ветре (СВ) и в магнитослое
(МСЛ). Рисунок ИКИ РАН

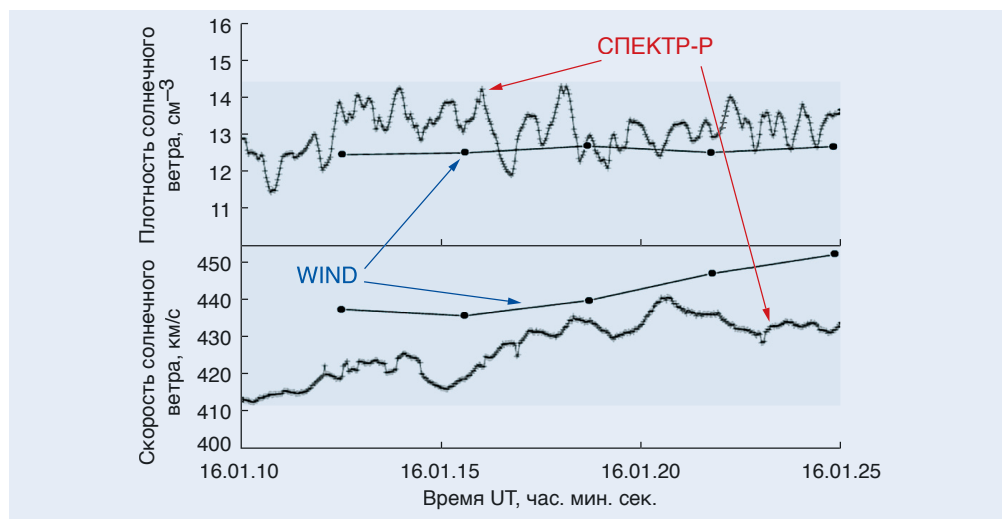


с беспрецедентным временным разрешением 31 мс! При этом наблюдения с максимальным временным разрешением выполнялись непрерывно все время работы космического аппарата «Спектр-Р» (2011–2019 гг.), тогда как, обычно, в космических экспериментах близкого назначения быстрые измерения (burst mode) проводятся только для коротких по времени периодов. К сожалению, только 10% научной информации в полном временном разрешении удалось передать на Землю из-за сложностей передачи данных, тем не менее в результате эксперимента получено достаточно большое число длительных интервалов наблюдений при разных условиях в солнечном ветре и в магнитослое Земли.

С помощью измерений прибора БМСВ можно наблюдать структуры в плазме солнечного ветра на ионных и субионных масштабах (на масштабах порядка и менее радиуса вращения иона вокруг магнитной силовой линии – в среднем несколько десят-

ков-сотен километров), не доступных по измерениям на других космических аппаратах. На примере показана спектрограмма измеряемого дифференциального потока ионов – временная зависимость распределения частиц от энергии на заряд. На ней зафиксированы временной ход наблюдений в солнечном ветре, в области пересечения околоземной ударной волны и в магнитослое (переходной области между околоземной ударной волной и магнитопаузой). Четко видна регистрация в солнечном ветре двух популяций ионов – водорода (протонов) и дважды ионизированных ионов гелия, тогда как в магнитослое разделение этих двух популяций осложняется высокими температурами плазмы.

Измерения в межпланетном пространстве давали возможность проводить сравнение полученных данных по плотности и скорости протонов солнечного ветра прибора БМСВ на спутнике «Спектр-Р» и прибора 3DP на американском космическом аппарате WIND



Временной ход параметров солнечного ветра – плотности (верхняя панель) и скорости (нижняя панель) по данным прибора БМСВ на спутнике «Спектр-Р» (разрешение 31 мс) и прибора ЗДР на спутнике WIND (США; разрешение 3 с). Из работы Застенкера Г.Н. и др., 2013 г.

(работает с 1994 г.). Временное разрешение спектрометра плазмы на спутнике «Спектр-Р» в 100 раз превышало разрешение плазменного прибора на спутнике WIND, что позволило наблюдать тонкую структуру солнечного ветра, которая не видна по более грубым измерениям на спутнике WIND. На американском аппарате также функционировал еще один инструмент SWE, созданный на принципе цилиндров Фарадея, однако его временное разрешение составляло всего ~1.5 мин.

Отметим, что после запуска «Спектра-Р» в космос отправились американские специализированные спутники: в 2015 г. MMS (Магнитосферная многомасштабная миссия NASA из четырех космических аппаратов) для исследования магнитосферы и магнитослоя Земли и в 2018 г. Parker Solar Probe (Солнечный зонд Паркер) для исследования солнечного ветра вблизи области его зарождения вплоть до ~ 0.1 а.е.¹¹ В этих миссиях планирова-

лись в том числе высокодетальные измерения параметров протонов – на MMS с помощью набора электростатических анализаторов, а на Parker Solar Probe – с помощью цилиндров Фарадея, однако этим миссиям удалось получить лишь кратковременные интервалы измерений параметров плазмы с высоким временным разрешением и низким уровнем приборных шумов. Данные прибора БМСВ до сих пор остаются непревзойденными по систематическим высокодетальным прямым измерениям параметров плазмы в межпланетном и околоземном космическом пространстве.

МЕЖПЛАНЕТНОЕ ПРОСТРАНСТВО КАК ЛАБОРАТОРИЯ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

Турбулентность, как явление, известна человечеству с давних времен. Термин турбулентность *La turbolenzasince* – от латинского *turba* (толпа беспорядочно движущихся людей, каждый из которых двигается в каком-то своем заданном направлении) фактически ввел Леонар-

¹¹ Веселовский Е.С., Капорцева К.Б. Полет к Солнцу // Земля и Вселенная. 2019. № 5. С. 84–89.

до да Винчи в XV в. Он даже сделал зарисовку турбулентного течения в жидкости¹².

Исследование законов турбулентности – важная задача, как в описании движения жидкостей и газов (например, турбулентный след за движущимся со сверхзвуковой скоростью самолета), так и в описании движения лабораторной плазмы (например, проблема пристеночной турбулентности в Токомаках) и космической плазмы (турбулентность в астрофизических объектах, на Солнце, в межпланетной среде). Большинство исследований и теоретических описаний законов турбулентности разработано для гидродинамических сред (например, классическая модель Колмогорова¹³). Эти подходы традиционно пытаются применить и для описания турбулентных флуктуаций в космической плазме, однако это не всегда возможно.

Исследование турбулентности в межпланетном космическом пространстве играет важную роль в понимании процессов обмена энергией между структурами разных временных и пространственных масштабов, нагрева и ускорения частиц, распределения диссипации энергии между нагревом и ускорением электронов, протонов и тяжелых ионов. Важное преимущество этих исследований состоит в том, что из-за больших масштабов системы мы можем заглянуть «внутрь» процессов диссипации в горячей плазме, что не доступно при исследованиях лабораторной плазмы.



Эскиз турбулентного течения в жидкости. Рисунок Леонардо да Винчи. «Исследования турбулентности», 1487 г.

Одной из важнейших фундаментальных задач распространения солнечного ветра является отсутствие адиабатического спада температуры с расстоянием от Солнца. Известно, что в короне солнца плазма сильно разогревается по сравнению с фотосферой и хромосферой. Далее, согласно теории Паркера, при удалении от Солнца плазма, расширяясь, должна охлаждаться по адиабатическому закону. Однако по наблюдениям на американской автоматической межпланетной станции Voyager-2¹⁴ оказалось, что температура снижается гораздо медленнее, чем было предсказано в теории, и начиная с определенного расстояния от Солнца спад температуры почти прекращается и даже наблюдается ее слабый рост.

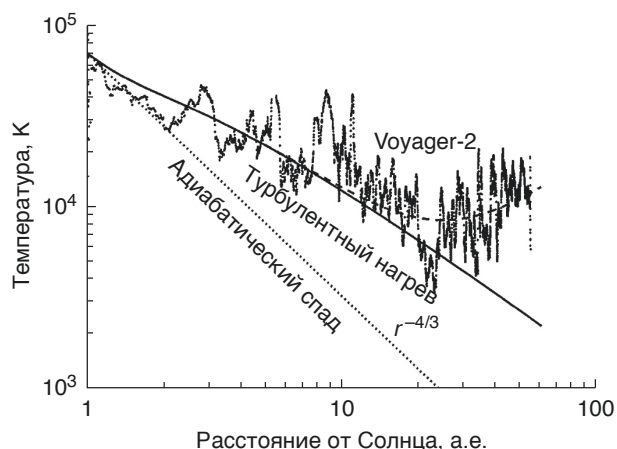
Предполагается, что эта задача может быть успешно решена с учетом турбулентного движения плазмы в межпланетном пространстве¹⁵. На приведен-

¹² Леонардо да Винчи. Исследования турбулентности. 1487 г.

¹³ Колмогоров А.Н. Локальная структура турбулентности в несжимаемой вязкой жидкости при очень больших числах Рейнольдса // ДАН СССР. 1941. Т. 30, №4. С. 299–303.

¹⁴ Ксанфомалити Л.В. Дальше – только звезды («Вояджер-2») // Земля и Вселенная. 1990. № 3. С. 41–51.

¹⁵ Matthaeus W.H., Zank G.P., Smith C.W., Oughton S. Turbulence, Spatial Transport, and Heating of the Solar Wind // Phys. Rev. Lett. 1999. V. 82. № 17. P. 3444–3447.



Зависимость температуры протонов от расстояния от Солнца по измерениям космического аппарата Voyager 2 (пунктирная линия), по предсказанию адиабатической модели (штриховая пунктирная линия) и с учетом турбулентного нагрева (сплошная линия). Из работы W.H. Matthaeus et al., 1999

ном графике можно увидеть сравнение зависимости температуры протонов от расстояния по измерениям на Voyager-2, в модельном предположении адиабатического спада температуры и при использовании модели с учетом турбулентного нагрева плазмы в солнечном ветре. На графике хорошо видно, что учет турбулентности позволяет качественно описать поведение температуры с расстоянием, однако в настоящее время этот вопрос активно дискутируется и обсуждается вклад и других процессов.

Кроме фундаментальной ценности, исследование турбулентности представляет и практическую значимость. Турбулентные течения в межпланетном пространстве осложняют предсказания движения и динамики структур при распространении плазмы от Солнца к Земле, и, таким образом, ее анализ необходим и для создания корректных прогнозов космической погоды.

Проблемы исследования турбулентности в межпланетном космическом пространстве связаны с почти полным

отсутствием кулоновских столкновений между заряженными частицами на пути от Солнца к Земле. Развивающиеся в плазме неустойчивости приводят к нелинейным электромагнитным взаимодействиям волн и частиц и формированию турбулентных спектров. При этом может нарушаться условие замороженности (предположение, что движение плазмы – ионов и электронов – полностью согласовано с магнитным полем и искажение магнитных силовых линий определяется движением плазмы, т.е. силовые линии как бы заморожены в плазму), что затрудняет использование идеальных магнитогидродинамических моделей при описании про-

цессов развития турбулентности. Последнее время широко используется холловская магнитная гидродинамика, которая учитывает тот факт, что ионы и электроны движутся с различными скоростями и в плазме существуют градиенты давления, в отличие от идеальной гидродинамики, предполагающей замороженность. В последнее время также успешно развивается кинетический подход, учитывающий взаимодействие заряженных частиц плазмы с магнитным и электрическим полями.

Каскад турбулентных флуктуаций в плазме межпланетного космического пространства можно условно разделить на три части: интегральный масштаб, на котором энергия поступает в систему – масштаб крупномасштабных солнечных структур (корональные выбросы массы, солнечный ветер из корональных дыр, протуберанцы и т. д.)¹⁶, инерционный (или магнито-

¹⁶ Богачёв С.А., Кириченко А.С. Солнечные вспышки // Земля и Вселенная. 2013. № 5. С. 3–15; Накаряков В.М., Зимовец И.В.,

гидродинамический) масштаб, – на котором основной вклад вносят магнито-гидродинамические процессы в плазме (альфвеновские волны, потоковые трубки, разрывы и т.д.) и диссипативный (или кинетический) масштаб, на котором главную роль играют взаимодействия заряженных частиц между собой и с электромагнитным полем. На этом масштабе доминируют локальные процессы в плазме, порождаемые в результате развития плазменных неустойчивостей. В плазме распространяются многочисленные волны, образуются вихревые течения, сложно взаимодействующие между собой на больших и малых масштабах. В результате возникает перекачка энергии между волнами и структурами разных масштабов. Энергия передается от структур большего масштаба ко все меньшим и меньшим масштабам пока не диссипирует на кинетических масштабах¹⁷. По наблюдениям только на одном космическом аппарате («Спектр-Р») мы не можем увидеть в целом пространственную структуру солнечного ветра, однако за счет высокой переносной скорости потока, заметно превышающей альфвеновскую скорость (скорость альфвеновской волны, которая распространяется почти без затуханий вдоль магнитного поля на большие расстояния и не изменяет плотность плазмы), структуры разных масштабов пронесутся последовательно мимо спутника.

Применяя гипотезу Тэйлора, в которой не учитывается медленное движение регистрируемой наблюдателем структуры относительно высокой скорости течения потока, выдвинутую еще в 1938 г., мы можем интерпретировать

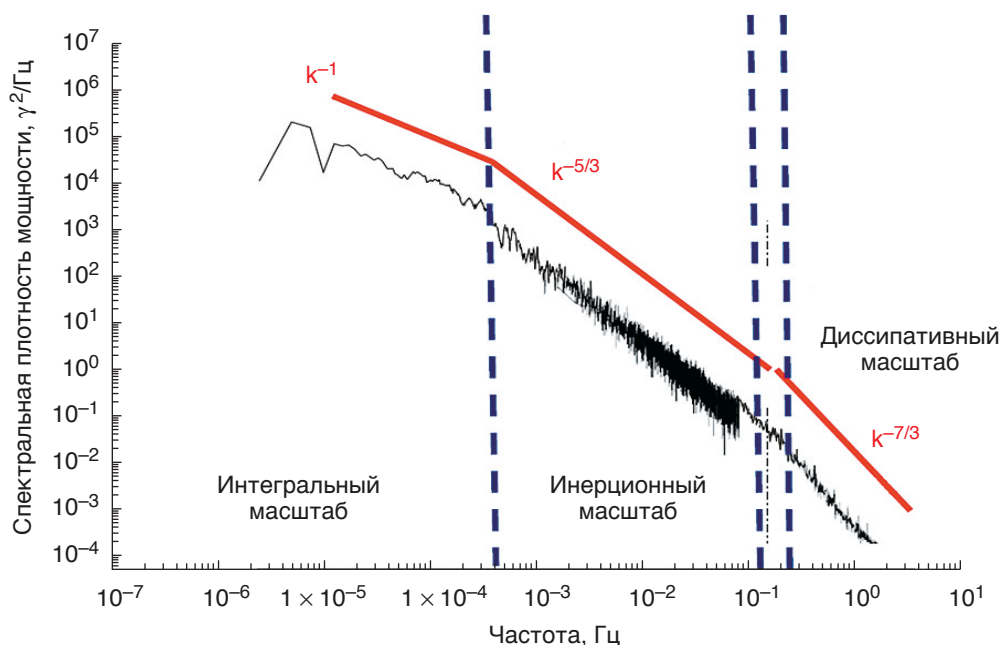
временные флуктуации, наблюдаемые в одной точке пространства, как совокупность пространственных структур. Типичный вид каскада турбулентных флуктуаций межпланетного магнитного поля представлен на рисунке. Показана зависимость мощности флуктуаций от их частоты и выделены характерные масштабы, описанные выше, а также указаны показатели наклонов прямых аппроксимирующих спектры на соответствующих масштабах. Для флуктуаций магнитного поля и плотности на магнито-гидродинамических масштабах в среднем наблюдается показатель наклона спектра $\sim -5/3$, типичный для классической Колмогоровской турбулентности, изначально созданной для описания гидродинамических сред. В этом подходе предполагается, что существует интервал, где происходит перекачка энергии между масштабами без диссипации (инерционный интервал). Ситуация в бесстолкновительной плазме много сложнее, однако для описания спектров флуктуаций на магнито-гидродинамических масштабах может применяться вышеописанный Колмогоровский подход¹⁸.

При переходе к высоким частотам начинает играть роль диссипация энергии, в результате характер спектра флуктуаций меняется и наклон спектра увеличивается. Существует множество подходов для описания характера турбулентного каскада на кинетических масштабах, предсказывающих различные варианты наклонов спектров (например $-7/3$, или $-8/3$). Однако в эксперименте в среднем наблюдаются показатели наклонов спектров турбулентных флуктуаций ~ -2.8 , т. е. большие по модулю по сравнению с предсказанными в моделях. Кроме того, этот показатель сильно варьирует для разных условий наблюдения и разных экспери-

Анфиногентов С.А. Плазменная симфония, или магнито-гидродинамические волны в короне Солнца // Земля и Вселенная, 2022, № 1, С. 5–21.

¹⁷ Bruno R., Carbone V. The solar wind as a turbulence laboratory // Living Reviews in Solar Physics. 2013. V. 10. № 2.

¹⁸ Goldreich P., Sridhar S. Toward a theory of interstellar turbulence. 2: Strong alfvénic turbulence // Astrophysical J. 1995. V. 438. P. 763.



Спектр турбулентных флуктуаций (зависимость мощности флуктуаций от частоты) магнитного поля на удалении 1 а.е. (150 млн км) от Солнца (вблизи Земли) и характерные масштабы каскада плазменной турбулентности. Из работы R. Bruno & V. Carbone. Liv. Rev., 2013

ментов. Более быстрый спад спектров флуктуаций с частотой говорит о том, что диссипация энергии проходит более интенсивно, чем предполагается в теории.

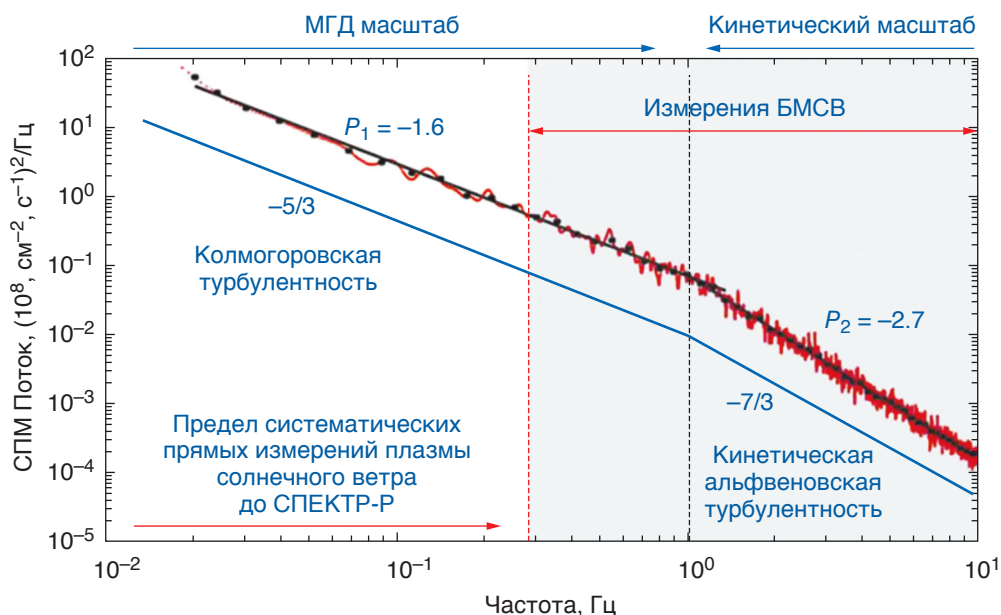
По сути, корректных моделей описывающей кинетическую область турбулентного каскада во всех ее проявлениях до сих пор не существует.

ПРЕИМУЩЕСТВА «СПЕКТР-Р» ДЛЯ АНАЛИЗА ТУРБУЛЕНТНОСТИ В СОЛНЕЧНОМ ВЕТРЕ

Изучение турбулентного каскада космической плазмы на магнитогидродинамических масштабах проводится с начала космической эры. Исследование спектра флуктуаций на кинетических масштабах стало возможно только с появлением высокодетальных измерений параметров межпланетной среды. Для магнитного поля существу-

ет ряд экспериментов, проводящих измерения с достаточным временным разрешением, поэтому, как правило, спектр турбулентности на кинетических масштабах исследуется по измерениям флуктуаций модуля магнитного поля. И хотя эпизодические измерения параметров плазмы с достаточно высоким временным разрешением (вплоть до десятых и сотых долей секунды) проводились даже в ранних космических экспериментах, систематические исследования турбулентного каскада плазменных флуктуаций на кинетических масштабах стали возможными только с запуском прибора БМСВ на космическом аппарате «Спектр-Р».

По результатам измерений на «Спектр-Р» выше представлен спектр турбулентных флуктуаций потока ионов, где отдельно выделена область каскада, не доступная по измерениям плазменных флуктуаций на других



Спектр турбулентных флуктуаций (зависимость мощности флуктуаций от частоты) потока ионов солнечного ветра по измерениям прибора БМСВ на спутнике «Спектр-Р». Из работы M.O. Riazantseva et al., 2015

космических аппаратах¹⁹. Видно, что часть спектра на кинетических масштабах, а также четко выделенный излом спектра между магнитогидродинамическими и кинетическими масштабами могут быть построены по данным «Спектра-Р». Показанный спектр флуктуаций близок к модельным представлениям, однако отметим, что подобные спектры наблюдаются сравнительно редко.

Теоретические подходы описывают поведение свободно развивающейся турбулентности в установившемся спокойном течении плазмы, тогда как в космической плазме часто наблюдаются эффекты «пристеночной» турбулентности. Самый очевидный пример –

переходная область за околослойной ударной волной (магнитослой), хорошо известно, что эта область характеризуется высоким уровнем турбулентности, характеристики которых часто отличаются от модельных. Но в открытом межпланетном пространстве также могут создаваться подобные условия. Например, такими условными «стенками», ограничивающими развитие турбулентности, можно считать разрывы параметров между потоками разного типа в солнечном ветре (например, межпланетные ударные волны). В результате, каскад флуктуаций не успевает сформироваться, наблюдаются различные особенности его формы, а наклоны спектров часто не соответствуют теоретическим предсказаниям. Подобные турбулентные флуктуации могут приводить к дисбалансу между притоком и оттоком энергии по спектру. Эти особенности наиболее четко видны именно по наблюдениям флуктуаций плазмы.

¹⁹ Riazantseva M.O., Budaev V.P., Zelenyi L.M., Zastenker G.N., Pavlos G.P., Safrankova J., Nemecek Z., Prech L., Nemec F. Dynamic properties of small scale solar wind plasma fluctuations // Phil. Trans. R. Soc. A. 2015. V. 373 (2041). 20140146.

Данные прибора БМСВ на «Спектре-Р» позволили впервые показать такие особенности флуктуаций плазмы на большом статистическом материале²⁰. На рисунке, по данным «Спектра-Р», показано сравнение частотных спектров флуктуаций в медленном спокойном солнечном ветре и в области CIR-области компрессии плазмы перед высокоскоростным потоком из корональных дыр (структуры в солнечной короне, где понижены плотность и температура плазмы). Видно, что если в медленном спокойном течении каскад флуктуаций в среднем соответствует модельному виду, то в CIR наблюдаются заметные отличия, особенно четко проявляющиеся в том, что каскад флуктуаций на кинетических масштабах спадает быстрее, что указывает на усиление диссипации в этих областях и, как следствие, приводит к быстрому нагреву плазмы. В результате измерений БМСВ удалось также показать, что частота перехода спектра флуктуаций от магнитогидродинамических к кинетическим масштабам меняется в зависимости от типа потока: в медленном ветре она определяется инерционной длиной протона, а для потоков с компрессией плазмы (типа CIR) – гирорадиусом протона (радиус кругового движения заряженной частицы в магнитном поле). Фактически это означает, что для различных потоков солнечного ветра характерна диссипация на структурах разного типа – каких именно еще следует узнать в ближайшие годы.

Одним из важных факторов отличия наблюдаемых спектров флуктуаций от модельного вида является неоднородность течения потока. Плазменные структуры в межпланетном пространстве распределены не равномерно –

в отдельных областях наблюдается их скопление, в других почти полное отсутствие, т. е. возмущенные периоды чередуются со спокойными. При этом функции распределений флуктуаций параметров зависят от масштаба, и для малых масштабов экстремальные события (с большими амплитудами флуктуаций) наблюдаются со значительно большей вероятностью, чем могли бы наблюдаться в случае нормального (Гауссовского) распределения. Такую особенность принято называть перемежаемостью.

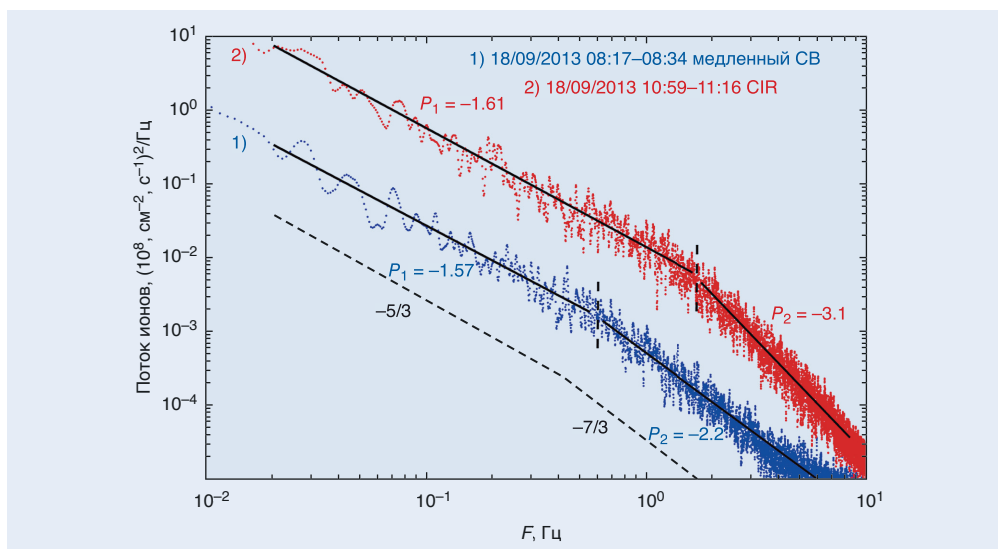
В Колмогоровском подходе считается, что турбулентность изотропна (одинакова во всех направлениях), при этом структура вихрей, вложенных друг в друга, самоподобна аналогично фракталу. Однако этот подход не применим для систем с перемежаемостью, в том числе в солнечном ветре, так как в нем не наблюдается самоподобие в классическом представлении. Тем не менее подобные системы можно описывать как мультифрактальные структуры (совокупность фракталов, каждый из которых характеризуется своей размерностью) разномасштабных вихрей в плазме²¹.

Исследованиям перемежаемости в солнечном ветре посвящено достаточно большое количество работ (например, обзор²²), но ученым из лаборатории солнечного ветра удалось внести свой вклад с помощью данных измерений прибора БМСВ на «Спектре-Р» и показать, что для описания перемежаемости в солнечном ветре лучше всего подходят статистические модели с учетом диссипации на одномерных нитевидных структурах. Этот результат хорошо согласуется с ранее предложенной моделью «спагетти» для струк-

²⁰ Рязанцева М.О., Рахманова Л.С., Ермолаев Ю.И., Лодкина И.Г., Застенкер Г.Н., Чесалин Л.С. Характеристики турбулентного потока солнечного ветра в областях компрессии плазмы // Космические исследования. 2020. Т. 58, № 6. С. 503–512.

²¹ Зелёный Л.М., Милованов А.В. Фрактальная топология и странная кинетика: от теории перколяции к проблемам космической электродинамики // Успехи физических наук. 2004. Т. 174, № 8. С. 809–852.

²² Bruno R., Carbone V. The solar wind as a turbulence laboratory // Living Reviews in Solar Physics. 2013. V. 10, № 2.



Спектр турбулентных флуктуаций (зависимость мощности флуктуаций от частоты) потока ионов в спокойном медленном солнечном ветре и в области CIR по данным прибора БМСВ на спутнике «Спектр-Р». Из работы М.О. Рязанцева и др., 2020

тур, наблюдаемых в солнечном ветре. Известно, что рассеяние энергии более эффективно, когда оно происходит в вихрях, неоднородно распределенных в пространстве, таким образом, высокий уровень перемежаемости является одной из причин дисбаланса энергии по каскаду турбулентных флуктуаций, наблюдаемого в солнечном ветре.

Спектрометр БМСВ в составе эксперимента «Плазма-Ф» продемонстрировал рекордные характеристики для измерений параметров протонов в космической плазме и позволил впервые провести систематические исследования турбулентного каскада плазменных флуктуаций в солнечном ветре и магнитосфере на ионно-кинетических масштабах. Удалось выявить, что спектры турбулентных флуктуаций, соответствующие общепринятым теоретическим представлениям, наблюдаются только в спокойном солнечном ветре – случай свободно развивающейся турбулентности. Установлено, что сдвиг скорости между потоками разного типа в межпланетном пространстве может являть-

ся ограничивающим фактором для развития турбулентности, существенным образом влияя на формирование турбулентного каскада и приводить к дисбалансу энергии. Также были найдены примеры наблюдений в разных типах течения солнечного ветра, где, по-видимому, диссипация происходит на структурах различного типа. Измерения БМСВ подтвердили, что принципиальное значение в формировании турбулентного каскада играет перемежаемость потока солнечного ветра, т.е. особенность неоднородного распределения флуктуаций в пространстве. При этом важную роль в процессах диссипации играет вклад нитевидных структур.

В заключении можно сказать, что благодаря ключевому решению Н.С. Кардашёва удалось реализовать эксперимент «Плазма-Ф» на борту космического аппарата «Спектр-Р», который показал высокую научную эффективность полетных малобюджетных экспериментов для космических миссий в межпланетном пространстве и дал науке о плазме много интересных данных.

ВЕЛИКИЙ ПОЛЕТ КИТАЯ

ПЕСЛЯК Александр Михайлович,

кандидат философских наук, историк космонавтики

DOI: 10.7868/S00044394823020081

В начале ноября 2022 г. Китай завершил строительство скромной по размерам (но спроектированной с учетом всего предшествующего опыта) трехмодульной космической станции «Тяньгун»¹ и не собирается останавливаться на этом. Успехи страны демонстрируют, что Китай становится второй после США космической сверхдержавой, которая не только повторила ряд достижений СССР, но по некоторым направлениям превзошла их и даже стала мировым чемпионом.

ОТКУДА РАКЕТНО-ЯДЕРНЫЕ «МУСКУЛЫ»

Молодая Китайская Народная Республика с 1949 г. испытала опыт серьезных военных столкновений с США из-за Тайваня, а затем в ходе войны в Корее. Требовалось качественно совершенствовать вооружения и структуру оборонного комплекса. В 1957 г. с Правительством СССР было заключено соглашение, предусматривающее, в частности, передачу Пекину технической документации и нескольких образцов баллистической ракеты Р-2. К этому времени в советские технические вузы были приняты первые китайские студенты, а наши специалисты выезжали в Китай читать лекции и консультировать будущих создателей ракет и спутников.

¹ Подробно о станции см. Лисов И.А. «Тяньгун» начинается // Земля и Вселенная. 2021. № 4.

...Из собственной «копилки памяти»... Два или три раза довелось брать интервью у Ирины Викторовны Стражевой. Профессор МАИ, супруга академика М.К. Янгеля не один месяц провела на берегах Янцзы, воспитывая новое поколение инженеров. С удовольствием рассказывала о работе с ними, об их даже ненасытности в учебе. А на шкафу стояла пекинская награда – большая бронзовая медаль за заслуги в образовании.

...В те же годы на одном из факультетов МАИ обучался студент Ван Юнчжи. Спустя полвека лидер пилотируемой космонавтики Китая прислал воспоминания об Учителе – академике В.П. Мишине. Их огласили на торжествах в МАИ, посвященных 100-летию со дня рождения Василия Павловича.

...1990-е годы, Байконур. На подготовке к запуску очередного экипажа наша телегруппа замечает нескольких иностранцев, окруживших специалиста КБОМ имени В.П. Бармина. По его словам, китайские коллеги очень заинтересовались технологиями «вывешивания» ракеты и процесса подготовки к пуску, будут приобретать лицензии... Спустя несколько лет спрашиваю его: «Владимир Николаевич, купили?» – «Нет, зато все внимательно рассмотрели, отсняли».

К методам заимствования технологий, систем прибегали и наши инженеры, когда копировали немецкие «Фау-2», британские двигатели, американскую авиатехнику военных лет.

Теперь друзьям-соседям на востоке требовалось создать сильную индустриальную, научную и военную «опору на собственные силы». В том немало и бескорыстно помогали в 1950-е и в начале 1960-х гг. наши ракетчики, ядерщики, авиа- и судостроители.

«КИТАЙСКИЙ» ЗАМ КОРОЛЁВА

Правительство КНР, как отмечалось выше, обратилось в Москву с просьбой помочь в становлении и развитии ракетной техники, в том числе и направлением группы специалистов и преподавателей. Предусматривалась передача двух ракет Р-2, а также полного комплекта их наземного оборудования. В Пекин выезжали специалисты и вывозились комплектующие агрегаты и системы, готовилась и передавалась учебно-методическая документация по ракетам Р-1 и Р-2 (позже – и по Р-11Ф). Плюс образцы узлов, аппаратуры и целых систем – в качестве наглядных пособий к лекциям.

Руководителем всей советской группы ракетчиков в Китае был утвержден генерал-майор Л.М. Гайдуков, в годы войны – член Военного Совета Гвардейских минометных частей, а сразу после нее – руководитель комиссии по изучению трофейного немецкого ракетного оружия. Он же возглавлял комиссию по выбору места строительства китайского межвидового ракетного полигона.

Группу из полусотни командированных разработчиков ракет и их систем возглавил Петр Иванович Мелёшин, ранее – ведущий конструктор по Р-2, секретарь первого Совета Главных конструкторов. Для авторитета представительства, а по сути – для повышения эффективности взаимодействия с местными властями, он был утвержден заместителем Главного конструктора



Первая китайская баллистическая ракета DF-1 (создана на основе конструкции и технологий советской Р-2). Дальность – 550 км, боезаряд обычный – 500 кг. Первый пуск – в конце 1960 г., в течение десятилетия ограниченное число стояло на вооружении НОАК

тора С.П. Королёва. В сентябре 1958 г. посланцы ОКБ-1 и смежники с семьями прибыли в Пекин, где их разместили на территории военного городка.

Сергей Павлович непосредственно руководил выполнением директив Правительства СССР по оказанию помощи Китаю. При всей своей занятости он внимательно рассматривал кандидатуры конструкторов и инженеров своей и смежных организаций, а также изучал рекомендации китайским инженерам, проекты программ подготовки и обучения, предложения по выбору заводов, мест сооружения стендовой базы и полигона, интересовался ходом освоения и производства в КНР ракеты Р-2.

С китайской стороны работами руководил Цянь Сюэсэнь, директор Пятой

исследовательской академии Министерства обороны КНР, вернувшийся из США создавать китайскую ракетную программу. Местные специалисты учились настойчиво и усердно. Обстановка в период совместной работы была дружеской и доверительной. В сочетании с высокой компетентностью и авторитетом советских инженеров и техников это дало весьма положительный результат и заложило солидную основу для последующего бурного развития в стране ракетно-космической техники. И хотя в августе 1960 года советские специалисты были внезапно отозваны из Китая, усилия П.И. Мелёшина были там отмечены двумя медалями «Китайско-советская дружба».

Уже 5 ноября 1960 года состоялся первый пуск баллистической ракеты китайского производства – копии советской Р-2 – на дальность 550 км. Впоследствии ей дали имя «Дунфэн-1» (DF-1), что означало «Ветер с востока».

ОТ РАКЕТ БОЕВЫХ...

Опираясь на советские рекомендации, уроки и наработки, соседи стали создавать собственные структуры. Главный ракетный НИИ под вывеской Пятой академии стал основой для создания в ноябре 1964 г. специализированного министерства.

В трудную пору 1960-х гг. уже обученные специалисты настойчиво работали над созданием ракетно-ядерного потенциала КНР. В 1960 г. был создан боевой ракетный дивизион. Спустя год уже 20 полков оснащены ракетами DF-1 и производными от Р-11. Созданная на основе советских технологий, 29 июня 1964 г. совершила успешный полет ракета «Дунфэн-2», 16 октября была испытана первая китайская атомная бомба, а 27 октября 1966 г. носитель «Дунфэн-2А» успешно доставил ядерный боезаряд на полигон Лоб-Нор.

...На старт выходили ракеты все большей стартовой массы и грузоподъемности – «Дунфэн-3», двухступенчатая «Дунфэн-4» с дальностью 4500 км – первое изделие шахтного базирования, межконтинентальная «Дунфэн-5». Последняя в глубоко модернизированном варианте стоит на вооружении по сей день. Согласно западным экспертам, при дальности пуска 13 000 км ракета DF-5C несет 10 боевых блоков индивидуального наведения и обладает многочисленными средствами преодоления ПРО. В активе Китая – новые твердотопливные изделия: ракета средней дальности DF-26, мобильная межконтинентальная DF-31, которая может нести гиперзвуковой блок, и трехступенчатая DF-41, которая «стреляет» на дальность до 14 000 км и доставляет до 10–12 разделяющихся боеголовок по 1 Мт каждая. С 2007 г. Китай обладает технологией противоспутниковых ракет.

...С учетом международной и региональной обстановки председатель КНР Си Цзинпин весной 2023 г. потребовал приложить усилия для модернизации национальной обороны и вооруженных сил на всех фронтах и превратить народную армию в «стальную Великую стену», способную эффективно защищать государственный суверенитет, безопасность и интересы развития Китая.

...К ПРОНИКНОВЕНИЮ В КОСМОС

В Поднебесной создали первый космический носитель «Чанчжэн-1» («Великий поход»), добавив к ракете «Дунфэн-4» третью ступень (тоже аналогия с конверсией советских боевых ракет). 24 апреля 1970 г. был выведен на орбиту первый китайский спутник. Аппарат массой 173 кг назвали «Дунфанхун» – «Алеет Восток».



DF-31 – твердотопливная трехступенчатая ракета в мобильном исполнении (на тягаче). Дальность – несколько тыс км. Может также доставлять гиперзвуковой блок, что значительно повысит дальность стрельбы, либо 3–5 ядерных боеголовок индивидуального наведения мощностью до 150 кт



Образцы космических носителей (уменьшенные модели) в Национальном музее армии, Пекин



Ракета-носитель тяжелого класса «Чанчжэн-5» (семейство ракет «Великий поход») на стартовом столе. Стартовая масса – 867 т. Важнейшие качества – модульность (может использоваться с разными блоками). По тяге превосходит «Ариан-5» и «Протон-М» (на низкую орбиту выводит до 25 т нагрузки). Активна с 2016 г., в запусках КА и пилотируемых кораблей, зондов к Луне и Марсу

Запуск первого спутника и создание возвращаемого разведывательного аппарата «Цзяньбин-1», казалось, открывали дорогу планам пилотируемых космических полетов. Однако, как отмечено в журнале «Китай» (№ 9, 2022), «по причине ограниченных экономических, социальных и технологических условий того времени» начатые были работы по созданию пилотируемого корабля «Шугуан-1» были свернуты.

По отрывочным сведениям, аналогичная судьба в середине 1970-х гг. постигла многие проекты космических аппаратов военно-прикладного и научного назначения. В перечень причин неизбежно входил фактор «культурной революции», резко затормозившей развитие страны в целом, и длительный выход из политических борений.

Только в 1990-е гг. произошло своего рода возрождение космонавтики КНР, стали готовиться новые проекты и программы. Была образована Китайская национальная космическая администрация CNSA и две крупные государственные корпорации ракетно-космического профиля на базе бывшего 7-го Министерства машиностроения и входивших в его состав т.н. номерных академий, а по сути – крупных НПО. Во второй половине 2010-х гг. был дан старт и созданию частных компаний космического профиля.

Ракета DF-5 стала основой целого семейства носителей «Чанчжэн» грузоподъемностью до 8 т, но для отправки зондов к Марсу и доставки грунта с Луны потребовалась новая ракета-носитель тяжелого класса. Созданная с новыми двигателями на нетоксичных компонентах топлива, ракета «Чанчжэн-5» совершила первый полет в 2016 г. По грузоподъемности этот носитель уступает только американским *Falcon Heavy* и *Delta IV Heavy*. На новой ракете, в частности, основаны проекты доставки грунта с Марса и полета первого китайского зонда в систему Юпитера.

В стадии разработки – ракета грузоподъемностью 70 т, способная, в принципе, обеспечить лунную экспедицию по двухпусковой схеме. Следом предполагается создать сверхтяжелый носитель «Чанчжэн-9» для полноценного освоения Луны и пилотируемой экспедиции на Марс. Мощный двигатель для него уже вышел на огневые испытания.

ТАЙКОНАВТЫ

...В конце XX века, уже по соглашениям с Российской Федерацией, Китаю была оказана помощь в разработке пилотируемого корабля, создании скафандров и передаче методики подготовки космонавтов. Два китайских специалиста прошли полный курс обучения в Звёздном городке, чтобы на родине стать космонавтами-инструкторами нового отряда.

Важнейшим толчком к возобновлению совместных работ стало подписание в 1996 г. российско-китайского Соглашения о сотрудничестве в области пилотируемой космонавтики. Документ предусматривал поставку «соответствующих изделий, агрегатов, узлов и материалов», что открыло перед КНР новые перспективы совершенствования космической техники и способствовало скорому развитию собственной программы пилотируемых полетов.

Решение об организации пилотируемой программы было принято в Китае

еще в сентябре 1992 г., но только на рубеже нового века на околоземную орбиту был выведен первый беспилотный корабль «Шэньчжоу» («Небесный челн»). После четырех испытательных полетов в октябре 2003 г. на «Шэньчжоу-5» стартовал первый китайский космонавт Ян Ливэй. КНР стала третьей в мире державой, способной отправлять в космос пилотируемые корабли.

Корабль «Шэньчжоу» является творческой переработкой советского «Союза-Т», а орбитальный комплекс «Тяньгун» спроектирован по мотивам советской станции «Мир».

После «премьеры» китайские корабли летали нечасто, последовательно осваивая технологии пилотируемой космонавтики. Экипажи из двух и трех тайконавтов отработали работу в открытом космосе и стыковку на орбите, работали на двух орбитальных лабораториях, а с июня 2021 г. перешли к длительным полетам на орбитальной станции «Тяньгун».

В июне 2022 г. полетел экипаж третьей основной экспедиции, которому

Тайконавт Фей Чжулон в открытом космосе. Выход с орбитальной станции КНР, 2023 г.





ТНа орбитальной станции работают сразу два экипажа тайконавтов. Конец 2022 г.

было поручено нарастить структуру станции, добавив к базовому блоку «Тяньхэ» (летает с апреля 2021 г.) два исследовательских модуля 20-тонного класса – «Вэньтянь» и «Мэнтянь». 30 сентября первый, а 3 ноября и второй модуль были установлены на боковых стыковочных узлах «Тяньхэ». Масса полностью собранной станции с учетом пристыкованных кораблей (грузового «Тяньчжоу» и пилотируемого «Шэньчжоу») составляет 90 т. Таким образом, итогом третьего этапа программы пилотируемой космонавтики КНР становится собственный «космический дом», который проработает на орбите по крайней мере 10 лет. По заявлению руководства CNSA, станция открыта для широкого международного сотрудничества (планируется участие 17 стран).

Для перспективных программ, включая высадку на Луну, разрабатывается многоразовый корабль нового поколения на 7 человек, причем новые решения допускают и привлечение к полетам космических туристов. А в более дальней перспективе – и сверхбольшая станция, размером с десяток МКС...

СНОВА С РОССИЕЙ

Летом 2021 г., в развитие двустороннего Меморандума, была утверждена и презентована мировому сообществу «Дорожная карта строительства Международной научной лунной станции». Целый комплекс экспериментально-исследовательских средств запланирован для работы на орбите вокруг Луны и на ее поверхности. Задача – обеспечить многоплановое исследование и использование спутника Земли, наблюдения с его поверхности, фундаментальные эксперименты и проверку технологий «с возможностью длительной беспилотной эксплуатации и перспективой обеспечения присутствия человека». Исключительно важно, что проект открыт для всех международных партнеров, включая любой аспект миссии на каждом этапе.

Действует также план сотрудничества в области спутниковой навигации на 2021–2025 гг., включающий планы по интегрированному и инновационному развитию систем ГЛОНАСС и «Бэйдоу», повышению их совместимости и взаимодополняемости, размещению ряда наземных станций на территориях Китая и России. Был образован и двусторонний исследовательский центр по космической погоде.

В условиях нового миропорядка все значимее становится задача нашего двустороннего взаимовыгодного сотрудничества в сфере высоких технологий, а также мирного освоения космоса и предотвращения действий с угрозой применения ядерного оружия. Пекин заинтересован в воспроизводстве двигателей РД-180, в проектах ядерных двигательных установок, в совместном проекте лунной базы. А во втором направлении речь идет о стратегическом технологическом взаимодействии, в том числе по глобальным

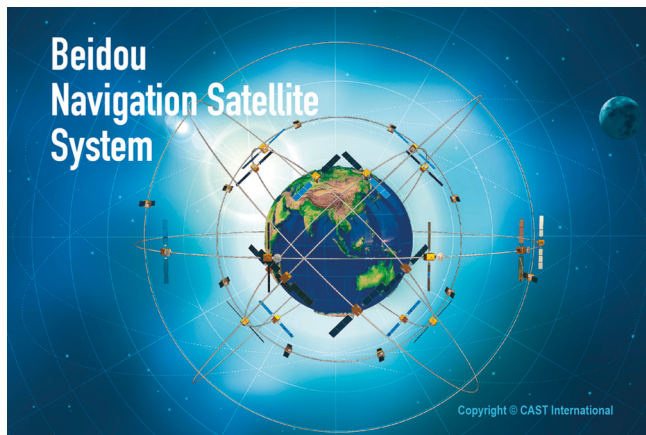
спутниковым программам ГЛОНАСС и «Бэйдоу», о наработке методов противодействия военно-информационным и иным угрозам со стороны недружественного Запада и Востока.

СЛЕДУЯ ЦАНДЕРУ: ВПЕРЕД, НА МАРС!

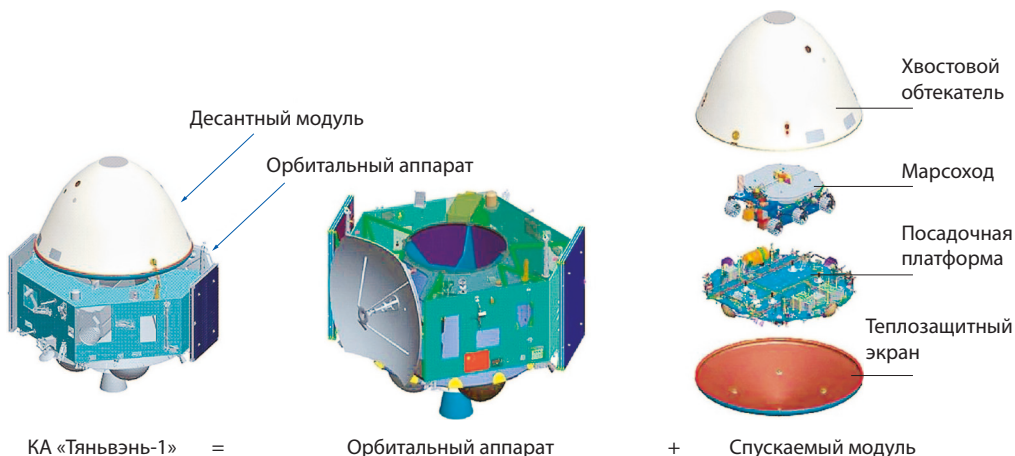
В октябре 2022 г. на конференции ИКИ РАН по Солнечной системе в онлайн-формате выступал глава Национального центра космической науки КНР профессор У Цзи. Он рассказал о ходе и итогах первой китайской межпланетной миссии «Тяньвэнь».

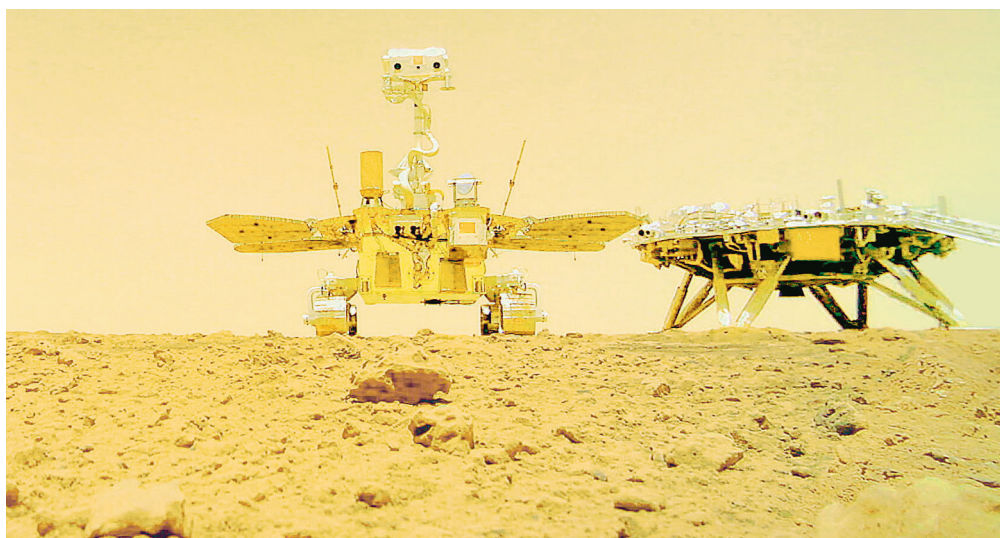
В корректной форме У Цзи напомнил, что первая китайская попытка старта к Марсу была сделана в ноябре 2011 г. Тогда 110-килограммовый зонд «Инхо-1» «подверстали» к пятитонному

российскому комплексу «Фобос-Грунт». Но... произошел отказ, не запустилась двигательная установка перелетного модуля российского аппарата; причиной было названо искажение программного кода бортовой ЭВМ «при воздействии тяжелых заряженных частиц на ячейки оперативного запоминающего устройства» (из заключения Межведомственной комиссии...). То была уже вторая неудача России в стремлении дотянуться до Красной планеты: в 1996 г. КА «Марс-96» со множеством зарубежных приборов на борту не смог выйти на расчетную траекторию и сгорел в плотных слоях



Составные части запущенного к Марсу комплекса «Тяньвэнь»





Уже на Красной планете: «селфи» марсохода «Чжужун» и посадочной платформы. Август 2021 г.

атмосферы. Возможно, тогда китайцы серьезно задумались о межпланетной «опоре на собственные силы», но решили еще раз попробовать – вместе с Россией. И вот – вторая неудача, с «Фобосом-Грунтом»...

В третьем десятилетии XXI века Пекин решает межпланетные задачи уже на собственной научной и технологической основе. В рамках проекта «Тяньвэнь» к Марсу «в сбойке» полетела триада аппаратов – орбитальный КА (исследователь и ретранслятор), посадочный модуль и ровер. Разумеется, старт проходил в комфортное «пусковое окно» летом 2020 г.; не случайно в это же время запускались марсианские автоматы США и ОАЭ².

За полугодовым полетом первой независимой межпланетной миссии следили три станции дальней связи Китая, одна из которых размещена в Аргентине. В феврале 2021 г. «Тяньвэнь» вышел на орбиту вокруг Марса. Благодаря чувствительной камере (разрешение 0.5 м

в полосе обзора 9 км при съемке из периферии) было выбрано иное, нежели планировалось изначально, место посадки. 14 мая десантный комплекс отделился и вошел в атмосферу, было выпущено небольшое крыло стабилизации, на высоте 100 м отстрелился парашют, двигатели обеспечили мягкую посадку.

Через неделю марсоход скатился на грунт. Кстати, он обладал повышенной проходимостью и обзором: стойки всех шести колес способны подниматься на полметра, улучшая возможности движения и показа местности. После съезда машины по аппаратам была проделана необычная процедура: ровер сбросил камеру, которая зафиксировала «селфи» сразу двух китайских аппаратов на Красной планете – «материнского» модуля и марсохода.

Стереокамеры обзора, радар, магнитометр и спектрометр, датчики и анализаторы 240-килограммовой машины за 2 км путешествия передали на Землю целый терабайт данных. Чтобы избежать сильной радиации, пыльных бурь и холода марсианской зимы, ровер

² См. Лисов И.А. Великий марсианский десант 2020 года // Земля и Вселенная. 2020. № 5.

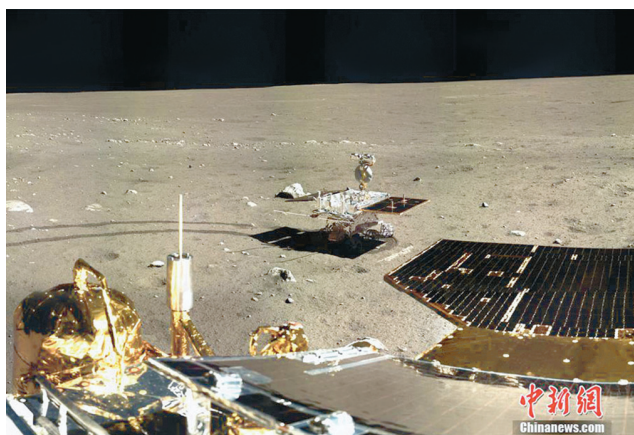
был в мае 2022 г. погружен в спящий режим. В декабре он не «проснулся»...

Результаты работы были опубликованы в авторитетном журнале *Nature*. По заявлению китайских ученых, на очереди – создание и запуск комплекса по доставке грунта планеты.

СЕСТЬ НА «СПИНУ» ЛУНЫ. СОБРАТЬ КИЛОГРАММЫ ГРУНТА

...Национальной лунной программе Китая – почти 20 лет, в ее рамках было запущено семь космических аппаратов, причем все успешно. Даже первый аппарат «Чанъэ-1», созданный на базе геостационарного спутника связи и запущенный в 2007 г., почти 16 месяцев был спутником Луны, передавая трехмерные изображения поверхности, в том числе для определения мест посадки будущих станций.

...Удивительна и «выносливость» китайских аппаратов-«долгожителей». Да, первый луноход «Юйту» («Нефритовый заяц») потерял способность к передвижению на второй лунный день, однако уже в виде стационарной научной станции работал на спутнике Земли с декабря 2013 по 2016 г. Его доработанный двойник был доставлен в декабре 2018 г. на обратную сторону Луны – и трудится там уже более четырех лет вместо записанных по проекту трех месяцев. О грандиозном успехе этой миссии «Чанъэ-4» на невидимой стороне Луны свидетельствуют работа микроволнового радиометра, ряда спектрометров, результаты геохимических и радиоэкспериментов, применение защитных покрытий от холода, дистанционное управление лазерным сканером для определения места посадки. Кстати, на аппарат были установлены российские радиоизотопные блоки, разработанные учеными ВНИИЭФ в Сарове.

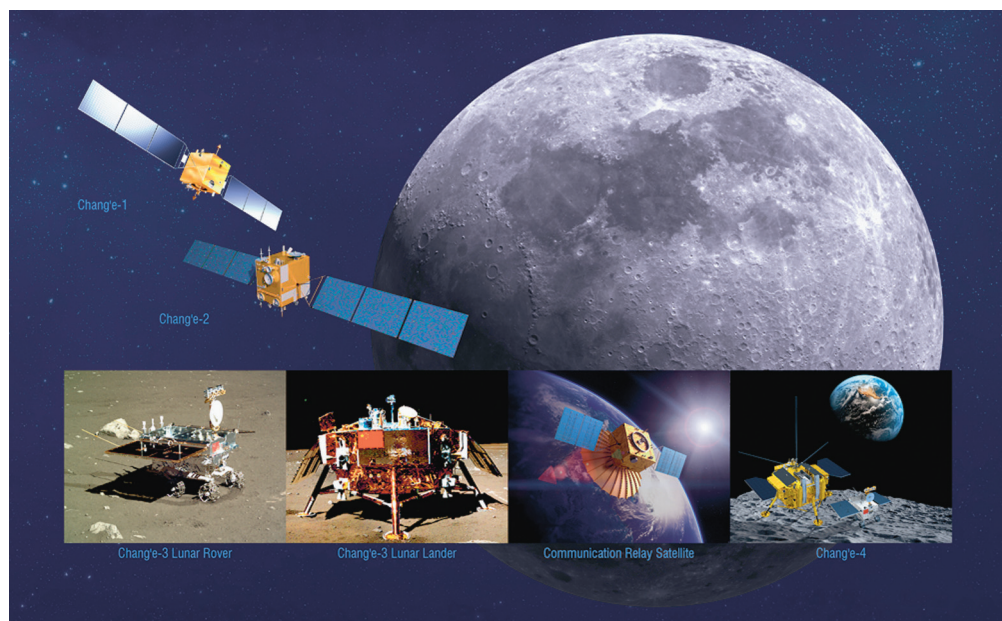


Луноход «Юйту» («Лунный заяц») и посадочная ступень «Чанъэ-3»



Январь 2019 г. Впервые в мире – поездка рукотворного объекта по обратной стороне Луны

В декабре 2020 г. на Луну отправился комплекс «Чанъэ-5» общей массой более 8 т в составе орбитального, посадочного, взлетного и возвращаемого модулей. Посадка состоялась в северной части Океана Бурь. Автомат



Семейство лунных аппаратов «Чанъэ»

провел бурение на глубину до 2 м и сбор образцов с поверхности, а две недели спустя 1731 г грунта успешно доставили на Землю!

Примечательна тщательность подготовки «реголитной» миссии: несколькими годами ранее был запущен экспериментальный аппарат «Чанъэ-5Т1» с задачей облета Луны для проверки технических решений по возвращению капсулы на Землю. Что касается старта с Луны взлетного модуля «Чанъэ-5», то в первые секунды сработали механические толкатели. Это позволило сохранить от пламени приборы на посадочной ступени при последующем запуске двигателей. Затем были выполнены автоматическое сближение и стыковка взлетного аппарата с орбитальным и перегрузка грунта в возвращаемую капсулу. Ее доставил к Земле орбитальный аппарат, сбросив капсулу только за несколько тысяч километров до приземления. Схема полета китайцев за лунным грунтом напоминала,

скорее, полеты американских «Аполлонов», нежели прямую доставку «шарика» с реголитом советскими аппаратами «Луна-16, -20 и -24».

Среди важнейших результатов миссии «Чанъэ-5» – подтверждение наличия признаков воды внутри лунных камней и реголита. Да, мало – от одной до двух сотых процента (скажем так: стакан воды на тонну грунта), но она есть... Кроме того, приборы показали, что Луне еще 2 млрд лет назад был присущ активный вулканизм. Кроме того, был проведен анализ нейтронного излучения и структуры грунта. А семена, слетавшие к Луне и подвергнутые воздействию лунной радиации, по возвращении успешно проросли.

«... В этом году Китай будет продвигать четвертую фазу своей программы исследования Луны, включая запланированную миссию “Чанъэ-6” по доставке на Землю 2 кг образцов грунта с обратной стороны Луны», – сообщил главный

конструктор этой программы У Вэй-жэнь. Исследования продолжатся запусками зондов «Чанъэ-7 и -8». В первом случае будет выполнена посадка на южный полюс Луны и поиск водных ресурсов, а в результате второй экспедиции в этом же районе «будет сформирована основная модель научно-исследовательской станции, включающей в себя орбитальный модуль, посадочный модуль, луноход, летательный аппарат и множество научно-исследовательских приборов».

СПУТНИКОВЫЕ ДЕЛА И КООПЕРАЦИЯ

Создание группировки геостационарных спутников связи и аппаратов постоянного наблюдения Земли, которые представляют интерес как для военного, так и для гражданского секторов, началось в Китае уже после окончания «культурной революции» (1966–76 гг.) при техническом содействии специалистов Франции и Германии. В 1980-е гг. были запущены первые спутники связи «Дунфанхун-2» и метеоспутники «Фэнъюнь-1» и «Фэнъюнь-2»; за ними последовали аппараты второго и третьего поколения. На рубеже веков на смену фоторазведчикам пришли оптико-электронные аппараты разведки, картографии и дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Длительное время реализуется с Бразилией проект CBERS (совместные спутники ДЗЗ); образована также двусторонняя рабочая группа по космической погоде. В начале 2020-х гг. подписано соглашение в формате БРИКС – о совместном использовании шести КА стран-участниц для целей ДЗЗ. Более того, образован и Комитет по сотрудничеству в космосе.

Разумеется, у Китая есть собственные аппараты наблюдения за Землей –

как созданные по госзаказу, так и коммерческие. Приборы мониторинга объемов углекислого газа и концентрации других компонентов атмосферы устанавливаются, в частности, на метеоспутниках «Фэнъюнь-3» и аппаратах семейства «Гаофэнь».

На сайте Национального центра космических наук с 2019 г. наблюдается некоторое сокращение «ассортимента» новостей; однако значительное место продолжают занимать программы и совместные эксперименты с Европейским космическим агентством. Так, сообщалось о трех «Расширенных курсах по Марсу», о почти двух десятках встреч рабочих групп. Другая совместная с ЕКА программа начала века – зондирование «космической погоды» по проекту «Меридиан». С 2013 г. развивалась уже мульти-инициатива, и спустя год был образован Пекинский центр Международного института космических наук (ISSI-BJ).

Китай последовательно реализует программу научных космических исследований, стараясь выбрать для реализации проекты мирового уровня. Еще в 2015–2017 гг. стартовали КА для «ловли» частиц высоких энергий DAMPE, для квантовых исследований QSS, для испытания технологии навигации по рентгеновским пульсарам XPNAV, для регистрации рентгеновского и гамма-излучения HXMT. В стадии реализации (включая предварительные запуски экспериментальных аппаратов) проекты по регистрации гравитационных волн и их электромагнитных спутников (Taiji и GECAM), по изучению Солнца (CHASE и ASO-S)³, обсерватория солнечного ветра, магнитосферы и ионосферы SMILE, миссия «Зонд Эйнштейна» (изучение рентгеновских и электромагнитных явлений), рент-

³ См. Лисов И.А. «Куафу» гонится за Солнцем // Земля и Вселенная. 2022. №6.



Старт космического носителя «Чанчжэн-11» с плавучей платформы в Желтом море

геновский телескоп SVOM, аппараты наблюдения за круговоротом воды на планете. Новые проекты предназначены для изучения гравитационных волн, черных дыр, отношений между Солнечной системой и человечеством, для исследования происхождения и эволюции Вселенной.

Завершено строительство орбитальной группировки спутниковой навигации «Бэйдоу». В зарубежной печати упоминается о проекте GW с задачей развертывания почти 13000 КА интернет-связи, а также разведки и даже вывода из строя «недружественных» аппаратов Илона Маска. Словом, собственный космофлот против *Starlink*. Не исключается и применение лазеров.

Пусковые услуги стали новым и выгодным направлением: с разных космодромов Китая уходили на орбиты коммуникационные и иные спутники Пакистана, Нигерии, Бразилии...

Наконец, новая страница в пусковых услугах: летом 2019 г. состоялся старт из акватории Желтого моря, с мобильной морской платформы. Четырехступенчатая ракета «Чанчжэн-11» вывела на солнечно-синхронную орбиту несколько легких спутников общей массой до 350 кг.

В марте 2023 г. Китай рапортовал: одной лишь Китайской исследовательской академией космической техники в космос запущено более 400 КА различного назначения, а на текущий год запланировано около 60 стартов с почти 200 китайскими аппаратами.

Продemonстрированный масштаб космической деятельности позволяет не сомневаться, что под силу Китаю и непрерывное по-

крытие поверхности Земли космической съемкой, и проектируемая многотысячная сеть телекоммуникационных спутников, и программы разработки астероидов.

Кстати, в следующей межпланетной экспедиции Китая зонд «Тяньвэнь-2» возьмет образцы с астероида 2016 НОЗ из класса астероидов, сближающихся с Землей, сбросит капсулу с ними на Землю, а затем отправится к комете главного пояса 311Р⁴.

ГОРДОСТЬ – И ПЕРСПЕКТИВЫ

Достижения в пилотируемой космонавтике и новые успехи в освоении ближнего космоса основаны на целом ряде факторов объективного и субъективного характера. Следует выделить мощный рывок экономики Китая: ВВП на протяжении 30 лет рос на 10% в год, доля страны в мировой экономике достигла 18.5%, завоевано первое место в мире по производству зерновых и по обрабатывающей промышленности. По итогам «ковидного»

⁴ См. подробнее Лисов И.А. «Тяньвэнь-3» доставит грунт с Марса // Земля и Вселенная. 2022. № 4.

2020 г. рост ВВП Китая составил 2,3%, снизившись с 8,4% в 2019 г. Через год, после снятия карантина в США и ЕС, китайская экономика продемонстрировала привычные 8,1% роста, но в 2022 г. вновь последовал провал в виде 3% роста ВВП, что объяснялось продолжающейся в стране политикой нулевой терпимости к коронавирусу. Прогноз на нынешний год скромнен: ожидается примерно 5% роста ВВП.

Несмотря на трудности, Поднебесная последовательно развивает высокотехнологичные сферы, компенсирует санкционные препятствия стимулированием, в том числе частного сектора. По данным *Reuters*, Китай разработал программу поддержки своей полупроводниковой промышленности на 143 млрд долларов. Тем временем местные суды начали выносить решения об аннулировании ряда патентов западных стран, делая зарубежные технологии доступнее для национальной промышленности (по данным журнала «Эксперт». № 11, 2023).

На космос работают более 150 крупных компаний, сотни частных офисов. Бюджет «занебесных отраслей» страны превышает 10 млрд долларов. Целый ряд возникших с 2014 г. коммерческих фирм (*LinkSpace*, *One Space*, *Changguang Satellite*) в ударном порядке создают собственные спутники и ракеты-носители – и твердотопливные, и жидкостные. К примеру, пять успешных стартов из пяти попыток на счету ракеты GSX-1 («Церера-1»). Эта 33-тонная «сигара» может выводить 300 кг полезного груза на солнечно-синхронную орбиту высотой 500 км. Эксперты считают ее самой экономичной и конкурентоспособной ракетой легкого класса.

В ближайшей перспективе – отработка ракеты «Чжужоэ-2» на кислородно-метановых двигателях и технологии возврата и повторного использования первых ступеней.

Примечательно: на выставке в Национальном музее Китая, посвященной достижениям китайских пилотируемых космических проектов за последние 30 лет, впервые представлены модели аппаратов для будущих пилотируемых миссий на Луну, включая корабль нового поколения и посадочный модуль. Гордость и уверенность...

А на территории г. Чунцин начато строительство второй очереди проекта радиолокационного наблюдения за дальним космосом «Сложный глаз Китая». Предусматривается строительство 25 радаров высокого разрешения, диаметр каждого из которых достигнет 30 м. Такой «глаз» поможет наблюдать и получать изображения высокого разрешения объектов дальнего космоса, таких как Луна и планеты земного типа, в целях защиты от астероидов, поддержки исследований, связанных, в частности, с формированием планет.

В конце 2023 г. Китай планирует запустить свой первый крупный космический телескоп. Его работа будет нацелена на изучение свойств темной материи и темной энергии, формирования и эволюции далеких галактик и многое другое. Он будет находиться на околоземной орбите недалеко от китайской космической станции и может периодически стыковаться с ней для ремонта или модернизации. Объектив телескопа – диаметром два метра, что сравнимо с «Хабблом», однако «поле зрения» будет примерно в 350 раз больше.

Стоит упомянуть и такие достижения, как крупнейший в мире наземный радиотелескоп⁵ с диаметром зеркала в 500 м, огромная «армия» спутников прикладного и экспериментального назначения, стартующих с четырех (!) космодромов страны в среднем раз в неделю. В 2022 г. совершено 64 пуска,

⁵ См. Лисов И.А. «Глаз небесный» // Земля и Вселенная. 2020. № 3.



15 января 2023 г. ракета-носитель «Чанчжэн-2D», стартовавшая с космодрома Тайюань, вывела в космос 14 спутников

на орбиты отправлено 182 КА, подавляющее большинство из которых изготовлено в Китае.

С другой стороны, Пекин инициирует привлечение зарубежных кадров в сферу высоких технологий. Китайская лаборатория по исследованию дальнего космоса (госфинансирование) приглашает к участию в Программе для выдающихся зарубежных молодых ученых, чтобы способствовать наработкам в таких областях, как аэрокосмическая наука и техника, планетология, физика, астрономия, ядерная наука, биология, химия и материаловедение, электронная информация, машиностроение, искусственный интеллект.

«Мы добились прорыва в нескольких ключевых технологических сферах, наблюдается масштабное развитие новых стратегических отраслей, – подчеркнул руководитель КПК Си Цзиньпин, выступая в октябре 2022 г. на XX съезде партии. – Наша страна добилась важных результатов по таким направлениям, как пилотируемые космические полеты, исследование Луны, Марса <...> спутниковая навигация, квантовые и атомные технологии».

И эти сферы – не исключение, хотя они значково определяют уровень и качество технологий, индекс научного и промышленного развития. Среди достижений китайский лидер упомянул также создание сверхмощных и квантовых компьютеров, глубоководные океанские исследования, биотехнологии, используемые в фармацевтике – или позволяющие выращивать рис... в морской воде. Между тем борьба за технологическое первенство идет в условиях

резких ограничений США на импорт электронных компонентов, санкционного давления в высокотехнологичных отраслях, постоянных провокаций США в Тихоокеанском регионе и по соседству с Китаем.

Уже как председатель КНР, переизбранный на третий срок, Си Цзиньпин выступил на сессии Всекитайского собрания народных представителей 14-го созыва. В более философском и историческом ключе он заметил: *«Эстафета построения модернизированной социалистической державы и всестороннего продвижения процесса великого возрождения китайской нации исторически была передана нашему поколению».*

А успехи третьей по космическому потенциалу державы уже играют важную роль в трансформации национальной экономики и науки, стимулируют развитие ряда передовых отраслей, повышают международную конкурентоспособность и престиж КНР.

Великий полет Китая во Вселенную продолжается.

Фото предоставлены автором. Все фото взяты из открытых источников.

Литературный космос

Продолжаем публиковать подборку стихов Михаила Исааковича Синельникова, посвященных космосу. Начало в ЗиВ №1, 2023.

Михаил СИНЕЛЬНИКОВ

Алания

Сто километров узкого ущелья,
Леса и цепь сплошных тюремных зон,
А после привкус колдовского зелья
И стужи освежающий озон.

Еще сопротивляется природа
Вторженью в недра, сияясь чужака
Усовестить потоком кислорода
И устроить безмолвьем ледника.

Земли незаживающая рана
Упрямо растравляется меж тем,
И властный зов смертельного урана
Сильней, чем стих эпических поэм.

И все же все предreshено в поэмах.
Они о том, что в небе где-нибудь
Еще в полете нарты в древних шлемах –
К другой планете продолжают путь.

* * *

Синеет море Галилеи,
Играют блики на воде,
Белеют на холмах лилеи,
Алеют маки кое-где.

И слово, сказанное миру,
Смиряет дух, и грусть светла,
А уж незримая Нибиру
К планете этой подплыла.

И переполнится Киннерет,
И в этот миг, возможно, ту
Дарованную тем, кто верит,
В себе отыщешь нищету.

Бытие

Оставив город близ Евфрата,
Он реку переплыл и стал
Бродячим шейхом – дело свято,
Разбиты Молох и Ваал!

Теперь пути в пустынях голых
И небеса со всех сторон,
Порою гости в ореолах
И повторяющийся сон.

В нем, ночью книгу звезд читая,
Увидишь белый бысролет,
Где ангелов густая стая
На длинной лестнице снует.

К чему все это копошенье
И бесконечный спор о чем?
Где старший, жертвоприношение
Прервавший огненным мечом?

* * *

Вернешься с поминок в темнеющий дом
И с призраком наедине
Задремлешь, томимый виной и стыдом,
И детство увидишь во сне.

Меж тем в этой комнате годы летят,
И лица мелькают во мгле,
И движется время вперед и назад,
И письма желтеют в столе.

И длится незримых пылинок полет,
И это галактик разбег,
И ветхая книга себя познает,
Меняясь из века в век.

Степное небо

Далекий путь по ровной степи,
И небо в царствии своем
Проводит облачные цепи
Из окоема в окоем.

Оно кругом, оно повсюду,
Мечтанья чьи-то в нем парят.
В одном краю услышишь Будду,
В другом – неистовый аят¹.

То тихий гром, то гул табунный
Его глотает немота.
Неопалима ночью лунной
Поверхность зыбкого куста.

И множатся в густых просторах
Переливающейся тьмы
Все эти звезды, о которых
Так часто забываем мы.

И ненадолго их пропажа...
Проснется степь, живет она
И жаждет нового миража,
Вся в синеву погружена.

Дега

Все выются его балерины
В мерцании голубоватом.
Как он рисовал эти спины,
Влюбленный поэт и анатом!

О, эти всезрящие плечи
В наклоне зовущей оглядки –
Взамен обличающей речи
В имперском цветущем упадке!

Все это движение в танце,
В одеждах искрящихся, пенных –
Струящее протуберанцы
Вращенье вселенных.

* * *

Ты – сумасшедший, или – все они?
И та, и эта ужаснет догадка.
У вариантов следствия одни,
Ведь изменить нельзя миропорядка.

Откуда ты? В ночное небо глянь!
Альдебаран, Арктур или Центавра?
Иль вспомни мифа золотую рань –
Во мраке ожиданье Минотавра!

* * *

И Маяковский, бормотавший что-то,
Когда его зарезав без ножа,
В любви соединялись два сексота
И хаяли, на привязи держа.

Кляли его, и становился тише,
Пока совсем в стенаниях ни стих
Теперь пригодный только для афиши
Тонический имеретинский стих.

Он жалок был, но в недрах сокровенных
Его души, во мгле его тоски
Вращались очертания вселенных,
Пылающих миров материи.

* * *

Громоздкий сикх в изысканном тюрбане
Стоял алмазной лавки посреди
И мановеньем величавой длани
Подвинул стену, и кивнул: «Гляди!»

И вспыхнули кровавые рубины,
Медвяные топазы там и тут,
Своей души заветные глубины
Открыл и вывел к свету изумруд.

И лунный камень, ракшасов и Раму
Способный примирить халцедонит,
Явил мне той вселенной голограмму,
В которой вновь родиться предстоит.

¹ Аят – стих Корана.

СТАНИСЛАВ ПЕТРОВИЧ ПЕРОВ (25.04.1935–26.09.2022)



*Так и жили – наскоро,
и дружили наскоро,
не жалея тратили,
не скупясь дарили.
Жизнь прошла – как не было.
Не поговорили.*

Ю. Левитанский

Ушел из жизни Станислав Петрович Перов, заместитель главного редактора журнала «Земля и Вселенная» с 2017 по 2021 г. Ушел тихо, так, что его отсутствие мы обнаружили только когда он не появился на очередной конференции по физике плазмы в ИКИ в феврале. Он был завсегдатаем всех конференций в ИКИ и не только в ИКИ. Собственно, и встречались мы с ним в основном на таких мероприятиях, обмениваясь новостями и результатами последних работ. И вот сейчас, получив информацию о нем от его коллег

и родных, начинаешь понимать, как мало мы друг о друге знаем, насколько более интересным было бы наше общение, и сколько общего было у нас и по жизни, и по научным интересам.

Мы оба заканчивали физфак МГУ, он кафедру физики атмосферы, я – физики для мехмата, но сейчас в основном занимаюсь как раз проблемами физики атмосферы. В наших биографиях случаются те же самые места (остров Кергелен, индийский Гуджарат, дальние походы на судах в научных экспедициях, Центральная аэрологическая

обсерватория и много других мест и событий), так же как общей остается любовь к природе и физике как ее научном отражении.

Как писал сам Станислав Петрович, интерес к физике у него проявился во время путешествия на Кольский полуостров в 1939/1940 г.: «...мы все оказались на красивейшем озере Имандра (Кольский полуостров). Здесь на чистом и прозрачном до глубокого дна озере я впервые приобщился к термодинамике и реактивному движению, т.к. лодочка, которую мне подарили, работала на воде от маленького огрызка елочной свечки, который создавал импульс от выходящего пара. Полярное зимнее небо со всполохами сине-синего, призеленого, красного сияния навсегда запечатлелось в памяти, а также бесконечные летние дни с незаходящим за горизонт Солнцем определили дальнейший интерес к астрономии и геофизике».

Его физфаковский друг, доктор физ.-мат. наук А.Д. Ерлыкин, вспоминает: «Слава принадлежит к тому поколению замоскворецких мальчишек, которое выросло в сороковые и пятидесятые годы, явилось свидетелем основных событий того времени – начала войны и победы, окончания школы и поступления на физфак МГУ и его окончания, военные лагеря. Слава был разносторонним в своих интересах: рисование, шахматы, футбол, морские путешествия. Любил рисовать, иногда писать рассказы и короткие стихи. Вместе с его учителем в МГУ, профессором А.Х. Хргианом, они выпустили монографию, посвященную атмосферным процессам и атмосферному озону. Слава участвовал в работе многочисленных конференций и школ, вкладывая в дискуссии свой горячий темперамент».

Остров Кергелен в Индийском океане рядом с Антарктикой, полигон в Бангалоре, длительные командировки в Индии – все эти места связаны с изучением верхних слоев атмосферы. Хорошее знание французского и английского языков позволяло работать в совместных рабочих группах в разных странах мира: во Франции, Германии, Аргентине, Швейцарии, Англии, Австралии и т.п.

Участие в экспедиционных походах на судне «Академик Ширшов», на борту которого размещались 24 научные лаборатории для проведения исследований по физике моря, атмосферы и космического пространства, физике Земли, химии и биологии океана – поистине плавучий исследовательский институт. На судне производились пуски метеорологической ракеты М-100Б. Установление единой шкалы измерений позволило рассмотреть всю накопленную в ЦАО информацию о термодинамических параметрах и ветре с единых позиции общей циркуляции средней атмосферы и создать по данным ракет М-100Б первую глобальную не зонную модель средней атмосферы. Данные стандартного (по температуре, давлению, плотности, ветру) зондирования легли в основу Международных справочных атмосфер Международного комитета по космическим исследованиям (КОСПАР) и Международной организации стандартизации.

В 1997–2012 гг. С.П. Перов работал на кафедре физики доцентом в Московском государственном университете прикладной биотехнологии.

В 2008–2015 гг. читал на физическом факультете МГУ курс лекций «Физические основы глобальных изменений окружающей среды».



Участники международного совещания "Earth system processes related to Gujarat earthquake using soace technology" 27-29 января 2003 г., Гуджарат, Индия. Фото из архива семьи С.П. Перова

В 2013 г. С.П. Перов защитил докторскую диссертацию по теме «Динамика и фотохимия озоносферы и средней атмосферы экваториальной и тропической обрости Земли».

Станислав Петрович был постоянным автором научно-популярных статей в газете физического факультета МГУ «Советский физик».

Один из организаторов и активный участник Всероссийских научных конференций «Физические проблемы экологии. Экологическая физика» в 1997–2004 гг., ежегодных Международных конференций-школ молодых ученых «Физическое и математическое моделирование процессов в геосредах» в 2015–2021 гг.

Совершенно удивительно то, насколько близко временами совпадали наши интересы. Я уже долгое время занимаюсь вопросами прогноза землетрясений с использованием космических средств, и вдруг на фотографии участников конференции по исследованиям катастрофического землетрясения в Гуджарате (Индия), состоявшейся в 2003 г., во втором ряду сидя-

щих первым слева вижу Станислава Петровича, а рядом с ним д-ра Рамеша Сингха, с которым мы работали вместе по проблемам тепловых аномалий (потоков скрытого тепла) перед землетрясениями и с которым есть несколько совместных публикаций. Примечательно, что встреча с С.П. Перовым оставляет след в памяти людей. По прошествии двадцать лет Рамеш Сингх прекрасно помнит Станислава Петровича, его выступление на конференции и отмечает, что идеи Перова по эффектам в атмосферном озоне перед землетрясениями сейчас используются учеными как в Индии, так и в США. Доктор Сингх выразил глубокие соболезнования в связи с кончиной С.П. Перова.

Еще хотелось бы отметить удивительную доброжелательность Станислава Петровича. Всегда, при общении с кем бы то ни было, он улыбался. Только таким я его представляю, и таким он останется в нашей памяти.

Он умер 26 сентября 2022 г. в Москве.

Сергей Александрович Пулинец

ТРЕТЬЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ ВИКТОРИНА ЮНЫХ ФИЗИКОВ ОТДЕЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК РАН

Ответы

Вопросы см. на стр. 23

Вопрос 1 (5–7 классы)

Основная ошибка на данной картине – это неверное изображение фазы Луны. Фазами Луны называют освещение Солнцем различных частей Луны, в зависимости от того, где относительно Солнца находится Луна. Существует популярное заблуждение, что мы видим «тень Земли» на Луне, но это совершенно не так. На самом деле, фазы Луны определяются лишь внутри системы Луна – Солнце. Во время новолуния, когда Луна и Солнце находятся на одной стороне от Земли, Солнце освещает «дальнюю» сторону Луны, и с Земли ее видно не будет. Со временем положение Луны относительно Солнца меняется, и с Земли становится видно, как Солнце начинает освещать «ближнюю» к нам сторону Луны. Когда Солнце и Луна находятся по разные стороны от Земли – мы наблюдаем полнолуние.

На картине А.П. Боголюбова изображен восход солнца на итальянском побережье. Отметим, что Италия находится в северном полушарии, следовательно, на картине изображена «молодая», растущая Луна. Но в таком случае ее не должно быть видно, ведь в этой фазе Луна должна располагаться восточнее Солнца. К тому же в северном полушарии наблюдать такую Луну возможно только вечером или в начале ночи, но никак не на рассвете. Чтобы изобразить Луну астрономически корректно, Боголюбов должен был изобразить ее в последней фазе («старая» Луна).

Главные фазы	Знак фазы	Видимость Луны
Новолуние		Не видна
Первая четверть (через 7 суток и 9 часов)		На юге – при заходе Солнца; на западе – около полуночи
Полнолуние (через 14 суток и 19 часов)		На востоке – вечером; на юге – в полночь; на западе – утром
Последняя четверть (по истечении 22 суток и 4 часов)		На востоке – в полночь; на юге – утром
Новолуние (через 29 суток и 13 часов)		Не видна

Вопрос 2 (8–9 классы)

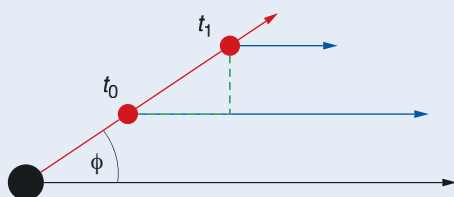
Наблюдаемая скорость может достигать значений в десятки скоростей света. Это не нарушает постулат СТО и ОТО. Подчеркиваем, речь идет про **наблюдаемую**, а не истинную скорость. Это кажущийся эффект, который происходит при условии истинной скорости течения плазмы, очень близкой к скорости света, и при малой величине угла между направлением течения струи и направлением на наблюдателя.

Например, истинная скорость течения плазмы равна 0.99 скорости света и угол наблюдения струи равен 5 градусов. В этом случае кажущаяся скорость примерно равна 6.3 скорости света.

Этот эффект является результатом конечности скорости света в вакууме.

Вывод также можно найти в книге В.Л. Гинзбурга «Теоретическая физика и астрофизика», глава 9.

Сверхсветовое движение



Рассмотрим плазменный сгусток, движущийся к нам со скоростью v и углом ϕ по отношению к линии наблюдения, излучая световые сигналы в моменты времени t_0 и $t_1 = t_0 + \Delta t_e$

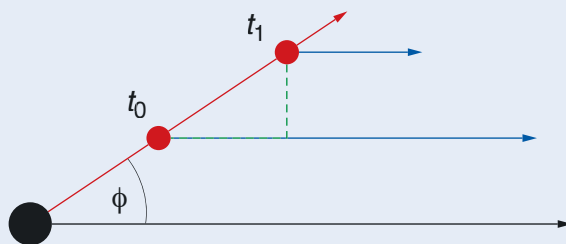
Время распространения света: наблюдатель видит сигналы, разнесённые во времени как

$$\Delta t_o = \Delta t_e - \Delta t_e \frac{v}{c} \cos \phi = \left(1 - \frac{v}{c} \cos \phi\right) \Delta t_e$$

Наблюдаемое расстояние, пройденное в плоскости неба:

$$\Delta \ell_{\perp} = v \Delta t_e \sin \phi$$

Сверхсветовое движение

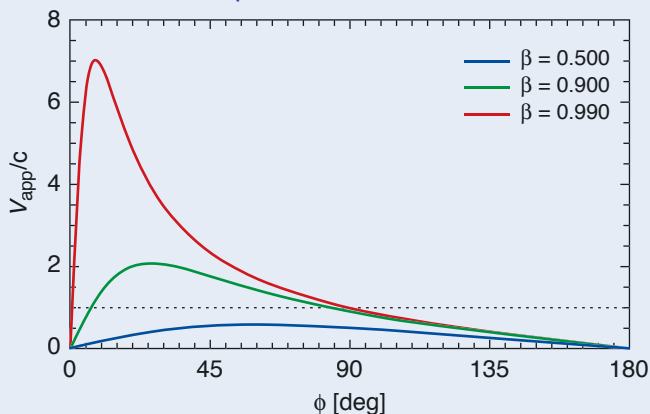


Наблюдаемая скорость, полученная из наблюдений:

$$v_{\text{app}} = \frac{\Delta \ell_{\perp}}{\Delta t_o} = \frac{v \Delta t_e \sin \phi}{\left(1 - \frac{v}{c} \cos \phi\right) \Delta t_e} = \frac{v \sin \phi}{\left(1 - \frac{v}{c} \cos \phi\right)}$$

$\Rightarrow$ Для большого значения отношения v/c и малого угла ϕ : $v_{\text{app}} > c$

Сверхсветовое движение



Вопрос 3 (10–11 классы)

При вращении Земли вокруг Солнца спутники в L_1 и L_2 вращаются вместе с ней и остаются всегда на линии Земля–Солнце. Земля вращается вокруг Солнца с угловой частотой, но это для решения задачи не нужно. Спутники должны вращаться вокруг Солнца с той же угловой частотой, чтобы всегда оставаться на одной линии с Землей. Центробежное ускорение, необходимое для этого создается совместной гравитацией Земли и Солнца. Для самой Земли ее центробежное ускорение, естественно, обеспечивается только Солнцем (Влиянием других планет мы здесь, конечно, можем пренебречь):

$$\omega_0^2 R_s = \frac{M_s}{R_s^2}.$$

$$\text{Для точки } L_1: \omega_0^2 (R_s - \Delta R_1) = \frac{M_s}{(R_s - \Delta R_1)^2} - \frac{M_E}{(\Delta R_1)^2}.$$

$$\text{Для точки } L_2: \omega_0^2 (R_s + \Delta R_2) = \frac{M_s}{(R_s + \Delta R_2)^2} + \frac{M_E}{(\Delta R_2)^2}.$$

$$\text{Обозначим: } \frac{\Delta R_1}{R_s} = y_1, \quad \frac{\Delta R_2}{R_s} = y_2.$$

Обе величины y_1, y_2 очень малы, $y_1, y_2 \ll 1$.

Для L_2 силы тяготения Земли и Солнца направлены в одну сторону

$$\omega_0^2 R_s (1 + y_2) = \frac{M_s}{R_s^2 (1 + y_2)} + \frac{M_E}{R_s^2 y_2^2}.$$

Раскладывая знаменатель второго члена в ряд, получаем:

$$\omega_0^2 R_s (1 + y_2) - \frac{M_s}{R_s^2} (1 - 2y_2) = \frac{M_E}{R_s^2 y_2^2}.$$

$$\text{Учитывая } \omega_0^2 R_s = \frac{M_s}{R_s^2}, \text{ находим } \frac{M_s}{R_s^2} 3y_2 = \frac{M_E}{R_s^2 y_2^2}, \text{ откуда } y_2^3 = \frac{1}{3} \frac{M_E}{M_s}.$$

Для L_1 расчеты аналогичны, но силы тяготения направлены уже в разные стороны:

$$\omega_0^2 R_s (1 - y_1) = \frac{M_s}{R_s^2 (1 - y_1)} - \frac{M_E}{R_s^2 y_1^2}.$$

Отсюда

$$\frac{M_s}{R_s^2} (1 - y_1) - \frac{M_s}{R_s^2} = - \frac{M_E}{R_s^2 y_1^2}.$$

Следовательно,

$$y_1^3 = \frac{1}{3} \frac{M_E}{M_s}$$

$$y_1 = y_2.$$

То есть обе точки Лагранжа находятся от Земли на расстоянии

$$\Delta R_1 = \Delta R_2 = R_s \left(\frac{1}{3} \frac{M_E}{M_s} \right)^{1/3}.$$

Учитывая данные из условия задачи, $\Delta R_1 = \Delta R_2 \sim \frac{R_s}{100} = 1.5$ млн км.

Неправильное решение основано на том, что точка Лагранжа находится там, где силы тяготения Земли и Солнца уравновешивают друг друга.

Для точки L_1 это рассуждение дает

$$\frac{M_s}{(R_s - \Delta R_1)^2} = \frac{M_E}{(\Delta R_1)^2}.$$

Поскольку $\Delta R_1 \ll R_s$, это приближенно дает

$$\frac{M_s}{(R_s)^2} = \frac{M_E}{(\Delta R_1^*)^2},$$

отсюда

$$\frac{\Delta R_1^*}{R_s} = \left(\frac{M_E}{M_s} \right)^{1/2} \sim 1.7 / 10^3.$$

То есть разница с правильным ответом почти на порядок $\Delta R_1^* = 0.25$ млн км.

А существование точки L_2 вообще невозможно объяснить при таком «подходе».

Вопрос 4 (5–7 классы)

1. Ускорение вращения планеты может происходить под действием как внешних сил, так и внутренних факторов. То есть существует две группы механизмов, или причин – внешние и внутренние.

2. Внутренний механизм ускорения описывается законом сохранения момента импульса. Ускорения вращения планеты может происходить за счет уплотнения планеты или формирования ядра: если масса планеты становится сосредоточенной ближе к центру, то угловая скорость вращения увеличивается.

3. Подобным образом ускоряются карусели, когда ребенок переходит от края карусели к ее центру. Таким же образом ускоряется вращение фигуристок и балерин, когда они прижимают руки к себе.

4. Внешним механизмом могло бы быть попадание метеорита, который проходит по касательной к поверхности планеты, передавая ей скорость, раскручивая ее ударом, как колесо. Пример раскручивания за счет ударов – вращение карусели, которую подталкивают ногой.

5. Для того, чтобы процесс 4 происходил периодически, планета должна ежегодно попадать в пояс метеоритов. Это значит, что орбита планеты не расчищена от других тел, что возможно для карликовых планет. Другое дело, что вероятность того, что удар будет раскручивать, а не тормозить, довольно низкая, поскольку метеорит должен попасть в нужную фазу вращения. Скорее всего, ускорение вращения будет происходить за счет внутренних факторов на этапе формирования планеты.

Вопрос 5 (8–9 классы)

Размер Солнца примерно $R_S = 1.4 \cdot 10^6$ км, расстояние от Солнца до Земли примерно $L_S = 150 \cdot 10^6$ км. Таким образом, пучок света от Солнца около Земли не параллельный, а имеет разброс по углу $\alpha = R_S/L_S = 0.009$ радиан. При расстоянии до спутника $L = 200$ км, это даст размер пятна на поверхности Земли $D = L \cdot R_S/L_S = 1.8$ км. То есть в качестве оружия ничего хорошего не получится!

Вопрос 6 (5–7 классы)

Радуга – это метеорологическое явление, которое вызвано преломлением и полным внутренним отражением света в каплях воды. Обычно (так получилось исторически) обсуждают процессы, связанные с распространением солнечного света. В результате этого явления на небе появляется спектр света. При этом природном явлении спектральные составляющие света накладываются друг на друга и образуют хорошо видимые дуги. (Комм.: подробно явление возникновения обычной радуги рассмотрено в решениях задач Второй викторины юных физиков 2021 г.).

Обобщая задачу возникновения радуги на произвольный источник света, можно утверждать, что разложение света в спектр появится при условии, когда:

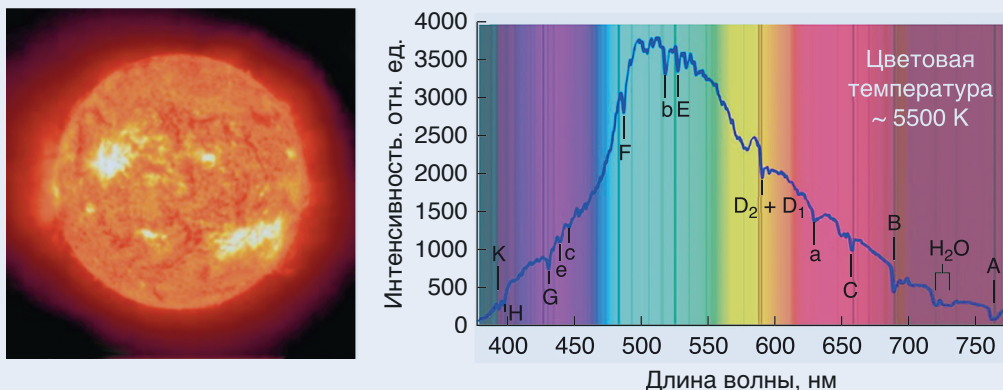
- имеется достаточно яркий источник света. При этом для достижения максимальной яркости источник света должен находиться ниже 42 градусов над горизонтом (иначе его не видно наблюдателю, находящемуся на поверхности Земли);

- имеется достаточно большое количество прозрачных частиц – мельчайших водяных капель (дождя или тумана), – в которых происходит преломление и полное внутреннее отражение лучей света от источника, находящегося за спиной наблюдателя.

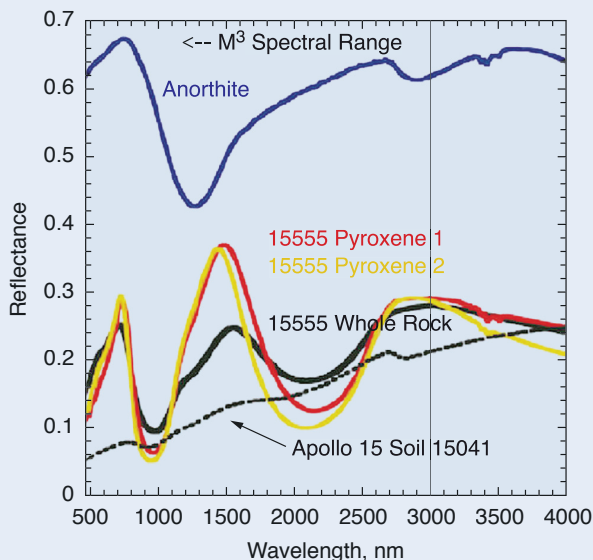
Принимая во внимание все вышесказанное, становится понятно, что Незнайка не солгал своим друзьям-коротышкам. Ночью радугу можно увидеть, когда имеется яркий источник света, например Луна в полнолуние, а также большое количество взвешенных в атмосфере капель воды. Лунная радуга, конечно, отличается от солнечной только меньшей яркостью. Она имеет тот же радиус, что и солнечная, и всегда находится на противоположной от Луны стороне неба, т.е. Луна должна быть сзади

наблюдателя и относительно невысоко (меньше чем 42 градуса и желательно еще ниже). Перед наблюдателем нужны взвешенные капли воды в воздухе (туман, капли дождя, очень хорошо видна радуга в брызгах водопада).

Принципиальным отличием лунной радуги от солнечной является и наблюдаемый спектр. Дело в том, что в случае солнечного света спектр описывается так называемый кривой Планка, описывающей излучение нагретого абсолютно черного тела. Именно это излучение раскладывается в известную последовательность (КОЖЗГСФ).

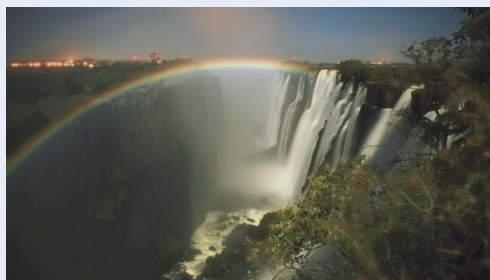


Ночная радуга связана с разложением в спектр солнечного света, отраженного от поверхности Луны. И здесь важно понимать, что поверхность Луны отражает свет на разных длинах волн по-разному (ниже приведены спектры отражательной способности различных лунных пород, полученные миссией Chandrayaan-2 Orbiter. Видно, что даже в видимом диапазоне (от 400 до 800 нм) солнечный свет будет отражаться по-разному. А в ультрафиолетовой и инфракрасной области спектра излучение почти полностью будет поглощаться поверхностью Луны. Таким образом, яркость разных цветов в Солнечной и Лунной радугах будут отличаться.



Еще более радикальные отличия мы будем наблюдать в радуге от искусственных источников света. Например, от яркого лазерного источника, полученного от смешивания 3-х лазерных источников (обычно красный 610 нм, зеленый 532 нм, синий 418 нм), в ночной «радуге» будут наблюдаться три яркие полосы, разделенные темными промежутками.

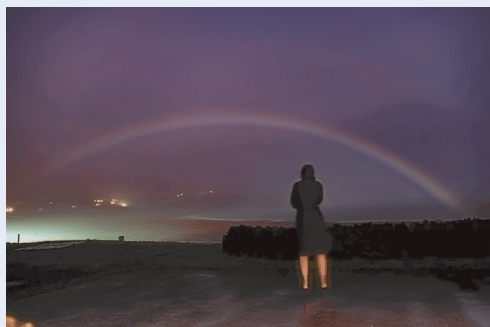
Комбинация всех необходимых требований делает Лунные радуги намного более редкими, чем радуги, порожденные Солнцем, благодаря чему им в древние времена приписывались мистические свойства.



Водопад Виктория и лунная радуга



Лунная арка в Норвегии



Остров Скай, Великобритания



Гавайи, США

Источник изображений:

<https://curious-world.ru/priroda/prirodnye-yavleniya/item/213-lunnaya-raduga>

Притча Козьмы Пруткова «Польза луны»

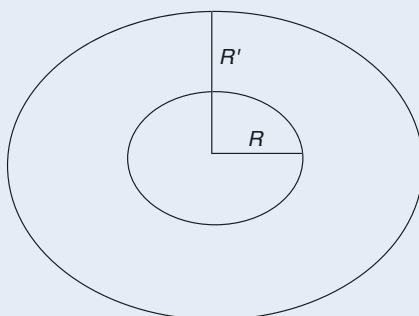
Насреддина спросили:

— Что полезнее: луна или солнце?

— Это яснее ясного, нечего и спрашивать, — ответил Насреддин. — Солнце восходит днем, когда светло. Что в нем проку? Луна же освещает мир в темные ночи. Поэтому луна в тысячу раз полезнее.

Вопрос 7 (10–11 классы)

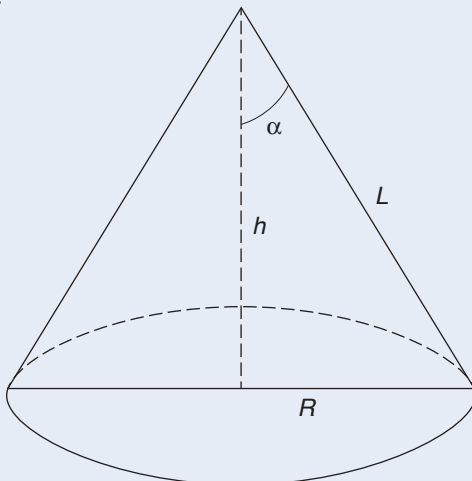
Представим, что космонавт находится в вершине конуса с углом, соответствующим его углу обзора, и основанием, соответствующим 60% площади земного диска.



Площадь диска обзора равна 60% от общей площади земного диска. Основываясь на этом утверждении, найдем радиус диска обзора космонавта:

$$\pi R^2 = 0.6 \cdot \pi R'^2, \quad R = R' \cdot \sqrt{0.6}.$$

Теперь рассмотрим конус с вершиной, представляющей из себя «глаз» космонавта с углом обзора в 135° .



Для дальнейших рассуждений нам потребуется определить высоту, на которой космонавт находится. Для этого воспользуемся фактом, что

$$\tan 67.5^\circ = \frac{R}{h}, \quad h = \frac{R' \cdot \sqrt{0.6}}{\tan 67.5^\circ}.$$

Зная высоту, мы можем воспользоваться третьим законом Кеплера и тем самым получить финальное выражение для орбитального периода:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\left(\frac{R' \cdot \sqrt{0.6}}{\tan 67.5^\circ} \right)^3 \cdot \frac{1}{GM}},$$

где R' – радиус Земли, G – гравитационная постоянная, M – масса земли.

Вопрос 8 (для всех возрастов)

Формально прямое наблюдение черной дыры, например, при помощи телескопов невозможно по той причине, что черная дыра обладает настолько сильным гравитационным притяжением, что покинуть ее не могут даже объекты, движущиеся со скоростью света, в том числе кванты самого света – фотоны. По этой причине ни на одной частоте электромагнитного излучения прямое детектирование невозможно. 14 сентября 2015 года два детектора (вместе называемые детектором LIGO (*Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory*), расположенным в США) зарегистрировали сигнал с возрастающей частотой от 35 Гц до 250 Гц. Сигнал соответствует предсказаниям Общей теории относительности для слияния двух черных дыр массами 36 и 29 солнечных масс на расстоянии около 1.3 млрд световых лет от Земли, при

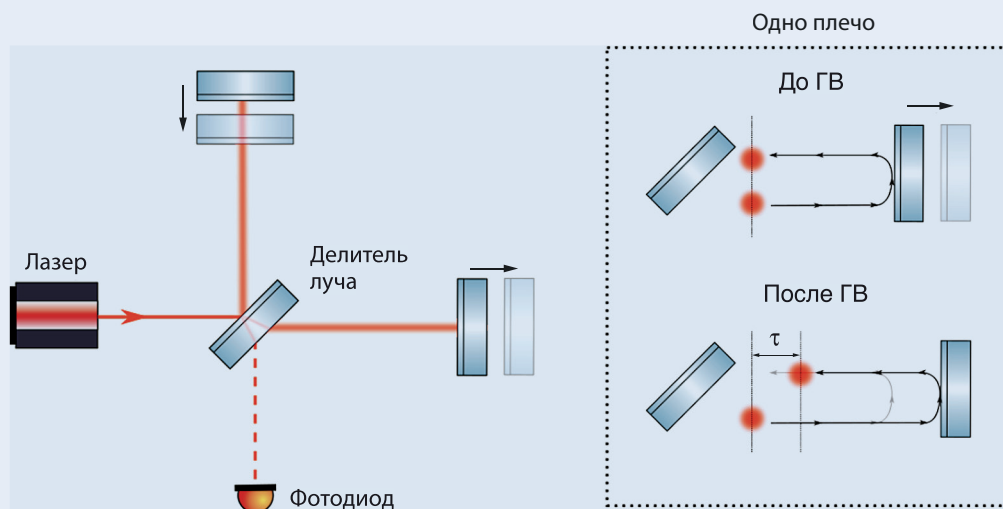


Рис. 1. Принцип влияния проходящей ГВ на интерферометр Майкельсона и возникновение сигнала при разбалансировке размеров плеч

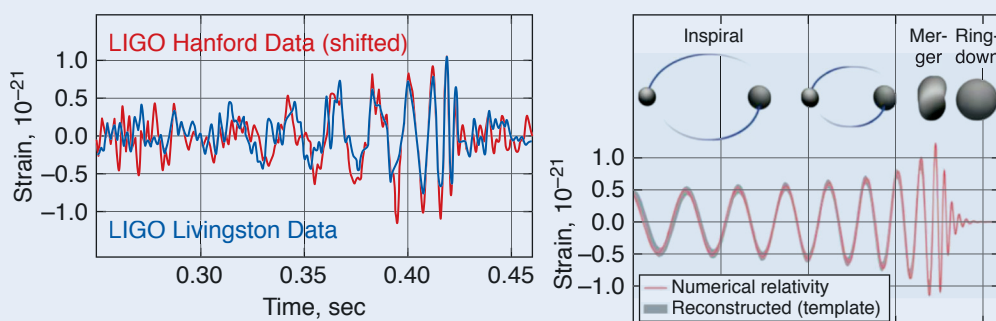


Рис. 2. Два наложенных сигнала от двух установок LIGO

этом суммарная масса оказалась на три солнечных массы меньше, что ушло на излучение, часть которого и была за-детектирована в виде гравитационных волн. Это стало первым уверенным подтверждением предсказания существования гравитационных волн Альбертом Эйнштейном в 1916 г. Как это произошло и что все-таки зарегистрировали? В США расположено два одинаковых детектора – интерферометра Майкельсона, находящихся на расстоянии 3000 км (две обсерватории, одна в Ливингстоне (штат Луизиана) другая в Хэнфорде (штат Вашингтон) вместе



Рис. 3. Тень черной дыры в центре галактики M87

образуют LIGO), что позволяет производить независимое наблюдение, а затем сравнивать результаты для исключения ложных сигналов. Кроме того, наличие двух (или более) детекторов помогает триангулировать сигнал для определения положения источника в космосе. Внутри интерферометра распространяется мощное непрерывное лазерное излучение, луч лазера делится поровну на делителе, отражается от конечных зеркал и, возвращаясь обратно на делитель луча, интерферирует (рис. 1). Для увеличения чувствительности такого детектора к расстоянию между зеркалами плечи интерферометра достигают длины 4 км, а сами зеркала массой в 40 кг закреплены на высокочастотных подвесах и снабжены дополнительной системой изоляции от сейсмических шумов. Если расстояние между подвижными конечными зеркалами интерферометра изменится, детекторы зафиксируют изменение интерференционной картины. При слиянии массивных объектов (например, двух черных дыр) в пространстве-времени распространяется малое возмущение кривизны этого пространства-времени, называемое гравитационной волной. Это приводит к тому, что расстояния между объектами слегка меняются, когда волна проходит через них. На рис. 2 изображено относительное растяжение интерферометра под действием гравитационной волны. Масштаб по вертикали 10^{-21} , было зафиксировано растяжение четырехкилометрового плеча интерферометра на 2.5×10^{-15} см. Детекторы LIGO зарегистрировали сигнал, выглядящий именно так, как предсказывалось для слияния пары черных дыр. Сначала идет шум, в котором начинают проявляться явные волны, которые идут все чаще, а потом резко заканчиваются. Каждая волна – пол-оборота системы двух черных дыр. Они быстро сближаются, поэтому время между пиками уменьшается. Последняя волна – это уже практически одна черная дыра. Сравнение с результатами численного моделирования позволило выяснить, что наблюдаемое нарастающее по амплитуде и по частоте колебание соответствует слиянию двух черных дыр с массами примерно 36 и 29 солнечных масс, которые слились в единую черную дыру массой 62 солнечных массы. Разница между суммарной массой двух исходных объектов и конечной черной дырой составляет 3 ± 0.5 солнечных массы. Этот гравитационный дефект масс примерно за 20 миллисекунд полностью перешел в энергию излученных гравитационных волн. Масса сливающихся черных дыр была определена по конечной частоте колебаний (чем больше масса, тем ниже частота). Она оказалась весьма низкой – 350 Гц. Значит, массы велики – в сумме больше 60 масс Солнца. Из асимметрии пиков были получены индивидуальные массы черных дыр. Зная, что амплитуда убывает обратно пропорционально расстоянию, видя конечную амплитуду, зная начальную и размер «излучателя», теоретический расчет позволил определить расстояние до черной дыры.

Что касается исследования формы черных дыр, то впервые регистрация окрестности сверхмассивной черной дыры была просканирована радиоинтерферометром *Event Horizon Telescope* (ЕНТ, «Телескоп горизонта событий»), работающим на длине волны 1.3 миллиметра. ЕНТ – это объединение восьми синхронно работающих радиотелескопов, расположенных в США, Мексике, Испании, Франции, Чили, Гавайских островах, Южном полюсе. Все телескопы одновременно наблюдают один и тот же объект, что позволяет увеличить угловое разрешение всей системы – т. е. способность различать на небе очень маленькие объекты. Группа ЕНТ наблюдала два объекта – черные дыры в центре галактики М 87 (Дева А) и в центре нашей галактики Млечный Путь – Стрелец А. Данные объекты были выбраны вследствие их малого размера. Их угловой размер не превышает пары десятков микросекунд дуги. Разрешение ЕНТ – как раз около 20 микросекунд. Основываясь на Общей теории относительности Эйнштейна, черная дыра, погруженная в яркий диск светящегося газа, должна иметь темную область, напоминающую тень. Эта тень, образу-

ющаяся вследствие гравитационного искривления света и его захвата горизонтом событий (границей черной дыры). Такая светящаяся область на границе черной дыры называется аккреционным диском. Из области диска облака пыли и газа втягиваются в черную дыру – вещество падает, в процессе разогревается и светится. Как раз это мы и видим на изображении черной дыры в виде светящегося кольца. Тень черной дыры – это наибольшее возможное приближение к изображению самой черной дыры, полностью темного объекта, который не выпускает из себя свет и поэтому не может быть исследован прямым наблюдением (рис. 1 (справа)). Для того чтобы наблюдать тень черной дыры, она должна быть либо достаточно близкой, либо достаточно массивной. Стрелец А – ближайшая к нам черная дыра, а черная дыра в центре галактике М87 находится на расстоянии более 50 миллионов световых лет от Солнечной системы, в тысячу раз тяжелее Стрельца А и примерно в 6.5 млрд раз тяжелее Солнца.

В радиоастрономии антенны телескопов отличаются большим разнообразием используемых длин волн – от 0.1 мм до 1000 м. Радиоволны при распространении в космосе сталкиваются с эффектами поглощения и рассеяния. Фотон, выходящий из центра галактики, поглощается, проходя через облака тепловой и релятивистской плазмы. В 2013 году отечественный телескоп «РадиоАстрон», работая на длине волны 1.3 см первым провел подробные наблюдения галактики М87, но не сумел рассмотреть тень черной дыры, так как излучение из космоса слишком сильно поглощается в окрестностях черной дыры в центре галактики. Для наблюдения теней черных дыр нужны радиотелескопы, работающие в миллиметровом диапазоне длин волн – такие, с которыми работает ЕНТ, и будет работать перспективный российский космический телескоп «Миллиметрон».

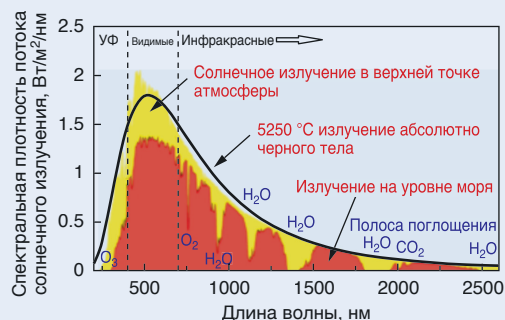
Таким образом, детектировать черную дыру проще всего с использованием лазерного (электромагнитное излучение на длине волны 1.064 мкм) интерферометра, который детектирует гравитационные волны. А наблюдать форму (размер) дыры удалось путем регистрации аккреционного диска, где излучение происходит в радио-диапазоне электромагнитного спектра (длина волны 1.3 мм).

Литература

1. https://elementy.ru/novosti_nauki/432691/Gravitatsionnye_volny_otkryty
2. https://elementy.ru/nauchno-populyarnaya_biblioteka/432941/Chto_uvideli_detektory_LIGO
3. <https://eventhorizontelescope.org/blog/astronomers-reveal-first-image-black-hole-heart-our-galaxy>
4. <http://www.astronet.ru/db/msg/1830542>

Вопрос 9 (для всех возрастов)

Рассмотрим процессы, которые происходят с Землей и парником.



Поверхность Земли вместе со всеми телами (объектами), расположенными на ней, «окутана» оболочкой – атмосферой, роль которой в случае парника играет стеклянная или полимерная оболочка.

Солнечное излучение распределено по весьма широкому спектру от ультрафиолетового диапазона с длиной волны ~ 250 нм до инфракрасного с длиной волны ~ 2500 нм (см. рисунок).

Это излучение на пути к поверхности Земли или на пути к объектам внутри теплицы проходит через оболочку, частично поглощаясь. Большая часть излучения сосредоточена в ближнем УФ, видимом и ближнем ИК-диапазоне (350–900 нм) и проходит через атмосферу и/или прозрачные стенки теплицы, практически не поглощаясь. То, какая часть излучения поглотится, определяется в случае Земли составом атмосферы, а в случае парника/теплицы – материалом, из которого изготовлены стенки. Это свойство можно характеризовать либо спектром поглощения, либо его аналогом – спектром пропускания (см. рисунки ниже).

Затем энергия падающего света преобразуется в тепло – поверхность Земли нагревается. Далее тепло может покинуть поверхность Земли только двумя путями – распространиться в более глубокие слои грунта, либо излучиться обратно в виде электромагнитной волны, но уже в среднем и дальнем ИК-диапазоне спектра.

Описанные выше процессы одинаковы и для Земли, и для парника.

Стенки теплицы, как видно из спектра пропускания стекла/пленки, не позволяют выйти ИК-излучению за пределы теплицы, а перенос разогретого воздуха за счет конвекции также невозможен (теплица становится замкнутой системой). Конечно, если мы, к примеру, откроем дверь теплицы настежь, то со временем температура выравняется за счет конвекционных потоков, и система перестанет быть закрытой.

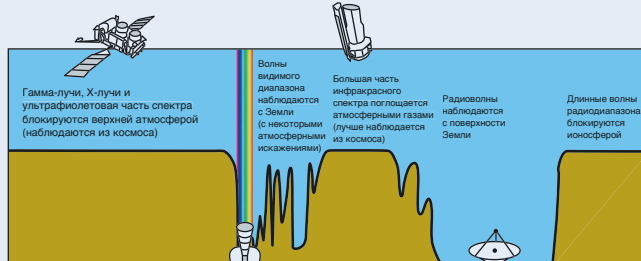
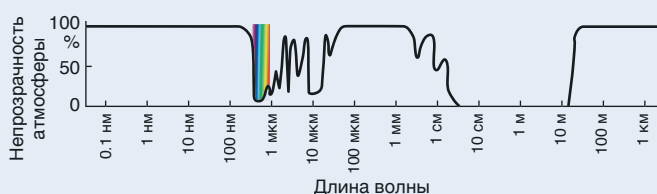
Земля, в свою очередь, не является изначально закрытой системой. Атмосфера Земли позволяет части излучения (в так называемых окнах прозрачности спектра поглощения атмосферы – см. рисунок выше) покинуть планету – уйти в открытый космос. Последнее обстоятельство определяет разницу между эффектами парника в теплице и на планете.

В то же время, атмосфера Земли может меняться, если в ее составе становится все больше так называемых парниковых газов (спектры поглощения которых перекрывают ИК-диапазон так же, как стекло или пленка), Земля становится все больше похожа на теплицу. К таким газам относятся водяной пар, углекислый газ, метан. Избыточная тепловая энергия не может уйти обратно в открытый космос даже в ИК-диапазоне, планета начинает нагреваться. В последнее столетие концентрация парниковых газов на планете превышает все известные исторические максимумы, что приводит к эффекту глобального потепления, угрожающего существованию экосистемы Земли в ее обычном виде.

Спектр пропускания стекол



Спектр поглощения атмосферы



Рекомендуемый ответ профессора:

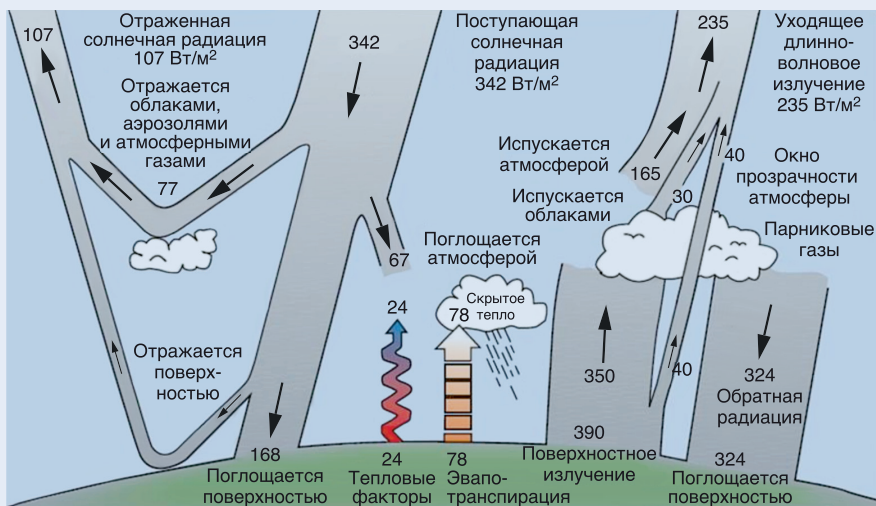
По поводу ответа на вопрос задачи о различии между физикой парника и физической парниковой эффект следует кое-что уточнить.

Действительно, и парник, и атмосфера Земли изменяют условия теплообмена заключенных внутри них объектов (грунта или планеты) с окружающим пространством. С точки зрения излучения, и Земля, и парник являются открытыми системами – они получают излучение извне и частично излучают его обратно. Для Земли – это единственный механизм теплообмена с окружающими ее космическими телами. Основное различие состоит в том, что главную роль в повышении температуры в парнике играет то, что рамы и стекла защищают нагретый за счет излучения грунт от охлаждения холодным внешним воздухом, в то время как в парниковом эффекте имеет место довольно тонкая игра с преобразованием спектра излучения после его поглощения поверхностью Земли и атмосферой.

Максимум интенсивности падающего на Землю солнечного излучения сдвинут в коротковолновую область (зеленый цвет), но после поглощения и переизлучения спектральный состав излучения меняется и максимум уже приходится на инфракрасную область. Но инфракрасное излучение достаточно сильно поглощается атмосферой. Поэтому, чтобы сохранить достаточно тонкий тепловой баланс – падающий поток энергии излучения равен уходящему в космос потоку – поверхности Земли необходимо иметь достаточно высокую температуру. Если бы эффекта изменения спектра излучения не было, то поверхность Земли имела бы среднюю температуру приблизительно 279 К (6 °C) ($\sigma T^4 = 342 \text{ Вт/м}^2$). До начала эпохи промышленной революции (середина XIX века) средняя температура Земли составляла 13.6 °C.

В поглощении испускаемого поверхностью Земли ИК излучения большую роль играют парниковые газы (в первую очередь, CO_2), усиливающие поглощение атмосферой ИК-излучения и, несмотря на их небольшое содержание в атмосфере, сильно сдвигающие тепловой баланс планеты в сторону повышения ее средней температуры.

Хорошей иллюстрацией теплового баланса Земли служит следующая диаграмма из доклада IPCC–INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change.



EARTH & UNIVERSE

2 (350), 2023

March–April

TABLE OF CONTENT:

Lev M. ZELENYI Editorial	3
Konstantin A. POSTNOV, Olga K. SILCHENKO The Universe: From the Big Bang to the Birth of Galaxies	5
Space Education	
Alina V. GOLOVANOVA, Konstantin A. MAGARYAN, Andrei V. NAUMOV Third Young Physicists Quiz of the RAS Physical Sciences Division. Tasks	23
People of Science	
Rustam D. DAGKESAMANSKYI Nikolai Kardashev: 60 Years of Friendship and 30 Years of His Supervision	35
Ken KELLERMANN Memories of Nikolai Kardashev from Astrophysics to Extraterrestrials	42
Vladimir A. SOGLASNOV Memories of Nikolai Kardashev. Kamchatka Expedition	49
Vladimir G. KURT My Friend Nikolai Kardashev	60
Maria O. RIAZANTSEVA, Lev M. ZELENYI Spektr-R, an Instrument to Study Turbulence	70
XXI Century Cosmonautics	
Alexander M. PESLIAK The Great Space Flight of China	84
Literary Space	
Mikhail I. SINELNIKOV Poems	99
In Memoriam	
Sergey A. PULINETTS Stanislav P. Perov (25.04.1935–26.09.2022)	101
Space Education	
Alina V. GOLOVANOVA, Konstantin A. MAGARYAN, Andrei V. NAUMOV Third Young Physicists Quiz of the RAS Physical Sciences Division. Answers	104
Table of Content	117

Cover image:

An artist's impression of how the very early universe (less than 1 billion years old) might have looked when it went through a voracious onset of star formation, converting primordial hydrogen into myriad stars at an unprecedented rate. Painting Credit: Adolf Schaller for STScI

Индекс 38808

Земля и Вселенная, 2/2023

Заведующая редакцией А.Ю. Обод

Редакторы С.А. Герасютин, Д.А. Кононов, О.С. Сажина

Корректор С.О. Розанова

Верстка макета Н.В. Мелкова

Просим обращаться

по вопросам публикации материалов:

(495)276-77-35 (доб. 42-31), e-mail: zevs@naukaran.com

по вопросам сотрудничества:

(495)276-77-35 (доб. 43-01 или 43-02),

e-mail: journals@naukaran.com

Журнал зарегистрирован Государственным комитетом

Совета министров СССР по печати 28 июня 1991 г.

Свидетельство о регистрации № 2119

www.naukabooks.ru/zhurnali/katalog/zemlja-i-vselennaja/

Все права защищены.

Перепечатка материалов возможна только с разрешения редакции.

Мнение редакции может не совпадать с мнением автора.

Все иллюстрации в статьях предоставлены авторами.

*Ответственность за точность и содержание рекламных
материалов несут рекламодатели*

12+

Сдано в набор 01.03.2023 г. Подписано к печати 10.04.2023 г.

Дата выхода в свет 24.04.2022 г. Формат 70 × 100¹/₁₆

Цифровая печать Усл.печ.л. 9.75 Уч.-изд.л. 9.75 Бум.л. 3.75

Тираж 1000 экз. Заказ № 46 Цена свободная

Учредители: РАН, ФГБУ «Издательство «Наука»

Редакция и издатель: ФГБУ «Издательство «Наука»

Адрес: 117997 Москва, ул. Профсоюзная, 90

Отпечатано в типографии ФГБУ «Издательство «Наука»

Адрес: 121099 Москва, Шубинский пер., 6

АкадемКнига

Букинистический отдел осуществляет покупку и продажу научной литературы, книг по искусству, антикварных изданий, старинных открыток, гравюр и фотографий

Для оценки крупных библиотек выезжаем на дом

Принимаем заказы

Формируем библиотеки

Адрес: 101000, Москва, Б. Спасоглинишевский пер., 8, стр. 4

E-mail: bukinist@naukaran.com

Справки по телефону:

8 (495) 624-7219



издательство
НАУКА
— 1727 —



**НОВИНКИ И АКЦИИ
В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ**



vk.com/naukapublishers



t.me/naukapublishersru

издательство
НАУКА
— 1727 —

Типография ФГБУ «Издательство «Наука»
www.tnauka.ru

- ▶ Разумная ценовая политика
- ▶ Высокое качество продукции
- ▶ Реальные сроки выполнения заказов
- ▶ Работа высококлассных профессионалов



- переплетные работы
- тиснение фольгой
- цифровая печать
- офсетная печать
- ламинирование
- цветоделение
- сканирование
- брошюровка
- лакирование
- цветопроба
- нумерация
- высечка
- верстка
- СТР



Удобное месторасположение
Тиражи от 20 экземпляров

- афиши
- календари
- удостоверения
- адресные папки
- визитные карточки
- фирменные бланки
- брошюры, журналы
- эксклюзивные издания
- полноцветные плакаты
- художественные альбомы
- книги в твердом переплете
- листовки, рекламные буклеты
- наклейки на бумажных материалах

Москва

Санкт-Петербург

«Наука»
Индекс 38808

ISSN 0044-3948



9 770044 394007